

Möglichkeiten der Interpretation von Metric-Camera - Fernerkundungsaufnahmen zur hydrologischen Struktur der Erdoberfläche

Eine Untersuchung am Beispiel des Rhône - Deltas

Inaugural - Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig - Maximilians - Universität
München

vorgelegt von

Kay Halm

26. März 1985

Möglichkeiten der Interpretation von
Metric-Camera-Fernerkundungsdaten
zur hydrologischen Struktur
der Erdoberfläche



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Möglichkeiten der Interpretation von Metric-Camera - Fernerkundungsaufnahmen zur hydrologischen Struktur der Erdoberfläche

Eine Untersuchung am Beispiel des Rhône - Deltas

**Inaugural - Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig - Maximilians - Universität
München**

vorgelegt von

Kay Halm

26. März 1985

INHALT

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden

2. Berichterstatter: Prof. Dr. F. Wilhelm

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juli 1985

INHALT

Vorwort	7
1 Rahmen der Untersuchung	9
1.1 Aufgabenstellung	9
1.2 Wasserwirtschaftliche Regionalplanung	10
1.2.1 Project Finding	10
1.2.2 Vorstudie	11
1.2.3 Feasibility-Studie	11
1.2.4 Monitoring	12
1.2.5 Planungsmaßstäbe	12
1.2.6 Wasserwirtschaftlicher Regionalplan	13
2 Metric Camera (Allgemeine und technische Aspekte)	15
2.1 Metric Camera (Gerät)	15
2.2 Metric Camera im Vergleich mit anderen photographischen Systemen	16
2.2.1 Missionen	16
2.2.2 Flächendeckung	16
2.2.3 Aufnahmespektren	17
2.3 Flugtechnische Daten	18
2.4 Photographische Bildverarbeitung der MC-Aufnahme	20
2.4.1 Ausgangsmaterial	20
2.4.2 Negativprozeß	20
2.4.3 Positivprozeß	22
2.4.4 Kontrastverstärkung	22
2.4.5 Vergrößerungen	23
2.5 Witterungsverhältnisse zum MC-Aufnahmezeitpunkt	30
3 Fieldwork als Gegenkontrolle zur MC-Kartierung	35
3.1 Verlauf der Geländearbeiten	35
3.2 Gelände-Arbeitsmethoden	35
3.2.1 Realkartierung der Bodenbedeckung	35
3.2.2 Objekt-Erfassung	36
3.2.3 Vermessung	36
3.2.4 Photo-Dokumentation	36
3.2.5 Sedimentproben	36
3.2.6 Wasserproben	37
4 Rhône-Delta (Allgemeines)	39
4.1 Abgrenzung des Testgebietes	39
4.2 Geologie	39
4.3 Bodenbedeckung nach Realkartierung	42
5 Kartierungen aus dem MC-Bild	45
5.1 Arbeitsmethode	45
5.2 Identifizierbarkeit des Gewässernetzes	48
5.2.1 Kartierungstest	48
5.2.2 Ergebnis	48

5.3	Lagunenklassifikation	50
5.3.1	Kartierungstests	50
5.3.1.1	Kartierungstest I	50
5.3.1.2	Kartierungstest II	52
5.3.2	Ergebnisse	52
5.4	Erfassung des Küstenverlaufs und seiner Änderungen	55
5.4.1	Kartierungstests	55
5.4.1.1	Kartierungstest I	55
5.4.1.2	Kartierungstest II	55
5.4.2	Ergebnisse	55
5.5	Differenzierung von landwirtschaftlichen Nutzungsklassen	60
5.5.1	Kartierungstests	60
5.5.1.1	Kartierungstest I (Feldflutung)	60
5.5.1.2	Kartierungstest II (Phänologie)	62
5.5.1.3	Kartierungstest III (Rauhreif)	63
5.5.1.4	Kartierungstest IV (Schatten)	63
5.5.1.5	Kartierungstest V (Schatten)	64
5.5.2	Ergebnisse	64
5.6	Salzwasser -/Süßwassergrenze	66
5.6.1	Kartierungstest	66
5.6.2	Ergebnis	68
5.7	Struktur von Salzgewinnungsanlagen	73
5.7.1	Kartierungstest	73
5.7.2	Ergebnis	73
5.8	Erfassung von Wasserbauwerken	76
5.8.1	Kartierungstests	76
5.8.1.1	Kartierungstest I (Große Kanäle)	76
5.8.1.2	Kartierungstest II (Schleusen)	76
5.8.1.3	Kartierungstest III (Becken-Verschlüsse)	80
5.8.1.4	Kartierungstest IV (BE- und Entwässerungsbauwerke)	80
5.8.2	Ergebnisse	80
5.9	Infrastruktur und Siedlungsverteilung	85
5.9.1	Kartierungstest I (Straßen)	85
5.9.1.1	Kartierungstest I (Straßen)	85
5.9.1.2	Kartierungstest II (Brücken)	85
5.9.1.3	Kartierungstest III (Siedlungen)	87
5.9.1.4	Kartierungstest IV (Hafenanlagen)	87
5.9.2	Ergebnisse	87
6	Weitere Möglichkeiten durch photographische Bildverarbeitung	92
7	Zusammenfassung	98
8	Literatur	101
	Lebenslauf	109

V o r w o r t

Ich spreche Herrn Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden (Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung am Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität, München) meinen herzlichen Dank aus, daß er mir die Möglichkeit eröffnete, im Rahmen seiner Arbeitsgruppe "Metric Camera" die Untersuchungen zur Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" durchzuführen. Herr Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden gab mir die Anregung zu dieser Arbeit und sorgte für die großzügige Finanzierung sowohl der photo- und repro-technischen Arbeiten als auch der aufwendigen Geländearbeiten im Testgebiet, indem er gemeinsam mit Herrn Dr. K. R. Dietz Mittel aus ihrem BMFT-Forschungsprojekt zur Verfügung stellte. Herrn Dr. K. R. Dietz spreche ich hiermit ebenfalls meinen Dank aus.

Herrn Prof. Dr. F. Wilhelm bin ich dankbar, daß mir das geowissenschaftliche Labor für die Sedimentanalysen zur Verfügung stand. Herr S. Aiblinger führte die Analysen freundlicher Weise durch.

Frau V. Kraus führte dankenswerterweise mit großer Geduld die unzähligen phototechnischen Experimente durch, die als Grundlage für die vorliegende Arbeit unentbehrlich waren.

Den Herren J. Mette und P. Schade danke ich für die kartographischen Arbeiten, die sie mit viel Mühe und Präzision ausführten.

Ich danke darüber hinaus auch meinen Kollegen, insbesondere Herrn Dr. Fr.-W. Strathmann, für die vielen hilfreichen Anregungen und Tips.

Herrn Dr. Güntzel von der Creditanstalt für Wiederaufbau (Frankfurt/Main) danke ich für die vielfältigen Informationen, die er zum Thema "Internationale Wasserbauplanung" beisteuerte.

Die digitale Bildverarbeitung der Landsat-Szene haben dankenswerterweise die Herren Dr. R. Haydn und H. Kaufmann (Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung sowie Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Ludwig-Maximilians-Universität, München) durchgeführt und mir zur Verfügung gestellt.

Die mit den Herren W. Stolz und R. Westermann gemeinsam durchgeführten Geländearbeiten im Testgebiet waren geprägt von enormer Hilfsbereitschaft sowie vielen fruchtbaren Diskussionen und Anregungen, durch die ich auch während der Auswertungsphase weiterhin wichtige Anstöße erhielt.

1 RAHMEN DER UNTERSUCHUNG

1.1 Aufgabenstellung

Am 28. November 1983 wurde mit dem Space Transporting System Nr. 9 (STS 9) -Columbia- das von NASA und ESA gemeinsam entwickelte und betriebene Spacelab 1 (SL-1) in eine niedrige, kreisförmige Erdumlaufbahn mit 90 Minuten Umlaufzeit gebracht. Die Nutzlast bestand aus 24 Geräten der ESA und 12 Geräten der NASA, die unter der Verantwortung der DFVLR standen. Insgesamt waren 14 Länder mit 68 Experimenten beteiligt. Der ursprünglich für den 18. April 1982 geplante Start wurde zunächst auf September 1983 und dann noch einmal auf Ende November 1983 verschoben, da im gesamten Space-Shuttle-Programm Verzögerungen auftraten. Andererseits wurde die auf neun Tage geplante Mission auf elf Tage verlängert.

Eines dieser Experimente war das sogenannte "Metric Camera Experiment" (Nr. 33). Es handelt sich dabei um eine photogrammetrische Kamera, mit der aus einer Höhe von 240-257 km photographische Aufnahmen der Erdoberfläche gemacht werden sollten.

Von seiten der Wasserwirtschaftler besteht ein besonders hohes Interesse an der Bereitstellung und Auswertung von neuen Fernerkundungsdaten für hydrologische / wasserwirtschaftliche Zwecke, da heutzutage neben Luft, Boden und Energie insbesondere dem Wasser steigende Bedeutung für die Versorgung des Menschen zukommt.

In den hoch industrialisierten Ländern sind vor allem die zunehmenden Wasserver- und Entsorgungsprobleme zu lösen. Diese liegen sowohl in der Bereitstellung von Wasser bestimmter Qualität als auch in der Behandlung und Wiederaufbereitung von gebrauchtem Wasser.

In Ländern der Dritten Welt hingegen ist allein schon klimatisch bedingt Wasser nicht immer in gewünschter Menge am gewünschten Ort zur gewünschten Zeit verfügbar. Darüber hinaus greift der Mensch gerade in diesen Gebieten massiv in den Naturhaushalt ein. Dabei plant und handelt er oftmals, ohne die Auswirkungen seiner Eingriffe auf das ökologische Gleichgewicht genügend zu berücksichtigen.

Um der Lösung dieser Probleme näher zu kommen, sucht man in der wasserwirtschaftlichen Planung nach geeigneten Hilfsmitteln. Ein solches Hilfsmittel können photographi-

sche Fernerkundungsaufnahmen sein, die ohne aufwendige digitale Computer-Verarbeitungen ausgewertet werden können. So steht die vorliegende Untersuchung über die Interpretierbarkeit von Metric-Camera-Fernerkundungsaufnahmen unter dem Gesichtspunkt, Möglichkeiten und Grenzen ihres Einsatzes in der wasserwirtschaftlichen Planung aufzuzeigen.

Wasserwirtschaftliche großräumige Projekte finden heutzutage in Mitteleuropa sicherlich kaum noch statt, das heißt, daß die potentiellen Einsatzmöglichkeiten von Metric-Camera-Aufnahmen vor allem in Ländern der Dritten Welt liegen. Da es aber für eine stichhaltige Untersuchung zur potentiellen Operationalisierung von Fernerkundungsaufnahmen unerlässlich ist, Geländearbeiten als Gegenkontrolle zur eigenen Kartierung vorzunehmen, dies aber weder finanziell noch verwaltungstechnisch / politisch in einem Land der Dritten Welt möglich ist, wurde für diese Testarbeit ein Gebiet gesucht, das

- a) nach dem vorgesehenen Flugplan des Space Shuttle auf einem Flugstreifen liegt,
- b) verschiedenartige hydrologische Strukturen aufweist,
- c) relativ leicht erreichbar ist und
- d) wo bereits allgemeine Orts- und Geländekenntnisse vorlagen.

So wurde das Rhône-Delta als Testgebiet ausgewählt.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Arbeitsgruppe zur Fernerkundungskartographie am Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung, Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden, die aufgrund eines Forschungsvorhabens von Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden und Dr. K. R. Dietz tätig werden konnte (Bundesminister für Forschung und Technologie Nr. FKZ 01 QS 193 3).

Der Bericht zu diesen Arbeiten (GIERLOFF-EMDEN, DIETZ und HALM, in Vorber.) zeigt die zusammenfassenden Ergebnisse der Bildanalysen von Metric-Camera-Aufnahmen aus den USA, aus Mexico, der Bretagne, des Rhône-Deltas und des Großraumes München auf.

Es sei besonders darauf hingewiesen, daß

für die vorliegende Untersuchung simultan gewonnene terrestrische Daten und Fernerkundungsaufnahmen ausgewertet werden konnten. Die dazu erforderlichen Messungen und Kartierungen im Untersuchungsgebiet haben gleichzeitig mit der Metric-Camera-Aufnahme im Dezember 1983 stattgefunden.

1.2 Wasserwirtschaftliche Regionalplanung

Heutzutage werden große wasserwirtschaftliche Projekte im internationalen Rahmen geplant und ausgeführt, und zwar zumeist unter der Leitung eines Konsortiums von Finanziers. Finanziers können einzelne Länder sein (z. B. BRD, DDR oder Canada) oder auch Gruppen von Ländern (BRD + Niederlande + Japan + Irak). Die Leitung wird häufig auch z. B. von der Weltbank, der Creditanstalt für Wiederaufbau oder der Europäischen Investment Bank übernommen.

Die für große wasserwirtschaftliche Vorhaben notwendige Planung enthält in aller Regel folgende fünf Planungsschritte:

- Project Finding
Projekt-Idee hinsichtlich Ort und Ziel
- Vorstudie / Reconnaissance
Das Zusammenstellen aller bereits verfügbaren sozio-ökonomischen und physikalischen Unterlagen, Daten und Fakten eines ganz bestimmten Gebietes; Daten aus früheren Berichten; Karten; Feststellung der Bedürfnisse; wirtschaftliche Aspekte; Abschätzung der möglichen Auswirkungen; Festlegung des Ablaufes weiterer Schritte der Planung
(Deutsches Nationales Komitee der Internationalen Kommission für Be- und Entwässerung -ICID-, 1971)
- Feasibility-Studie
Sammlung aller notwendigen physikalischen, hydrologischen, geologischen, topographischen und strukturellen Daten für Planung und Kostenschätzung sowie als Grundlage der Ingenieurplanungen; Geländearbeiten zur Ermittlung der gewünschten Daten
- Endgültige Planung
Ausarbeitung des Projekts mit vollständigen Plänen und genauen Abmessungen der

einzelnen Maßnahmen und Bauwerke; Finanzierung; Arbeitskräftebeschaffung

- Monitoring
Feststellen von großräumigen Veränderungen der Landschaft aufgrund des Projektes

Im Folgenden wird eine Auswahl von Beispielen aus den einzelnen Planungsphasen vorgestellt. Neben der bereits sehr gängigen Computer-gestützten Modell-Simulation kommt dem Einsatz von Remote-Sensing-Daten (wie z. B. eventuell auch den Metric-Camera-Aufnahmen) immer stärkere Bedeutung zu.

Dabei hat die Fernerkundung bereits besonders für tropische Gebiete Eingang in die Planungspraxis gefunden. Die überaus variationsreichen tropischen Gebiete mit einer Vielzahl von ökologischen Zonen sind in ihrer Komplexität nicht mehr modellhaft zu erfassen. Gerade im Bereich des Naßfelddbaus haben LANDSAT-Aufnahmen bereits große Dienste erwiesen. So wird im United Nations Environment Programme (UNEP, 1981) der Fernerkundung ein neuer Stellenwert zugewiesen (→ auch bei MALINGREAU and SOEKODARMODJO, 1983).

LENCO (1982) belegt in einer Studie über die Republik Haiti anhand von konkreten Zahlen die Kosten, die für die Ausnutzung von LANDSAT-Fernerkundungsdaten entstehen würden. Er kommt zu dem Schluß, daß trotz des enormen instrumentellen Aufwandes nur ein Zehntel der Kosten einer herkömmlichen Flugzeug-Befliegung entstünden.

Für das gesamte Einzugsgebiet des Uruguay-Flusses haben GRADOWCZYK, JACOVKIS, TAMUSCH and DIAZ (1980) eine Kombination von Modellrechnung und Remote-Sensing-Daten vorgenommen, um dem Verständnis der hydrologischen Prozesse in den einzelnen Zonen als Vorstufe für nachfolgende wasserwirtschaftliche Planungen näher zu kommen.

1.2.1 Project Finding

In der ersten Planungsphase, dem Project Finding, werden die Ziele festgelegt. Dabei kann es sich um Einzweck-Maßnahmen (Single-Purpose Project) oder um Mehrzweck-Maßnahmen (Multi-Purpose Project) handeln:

- Erhaltung des Gewässers
Gewässerschutz; haushälterische Bewirtschaftung und sinnvolle Nutzung der Ober-

flächen- und Grundwasservorkommen; Gewässer-Renaturierung; Water resources management (→ z. B. LESACA, 1983)

- Verbesserung der Wasserbeschaffenheit
Verhinderung oder Verminderung von Verunreinigungen chemischer, bakteriologischer, thermischer oder radiologischer Art einerseits; Erhöhung oder Erhaltung der natürlichen Selbstreinigungsprozesse mit Sedimentation, Oxidation und biochemischer Umsetzung mit Hilfe von Mikroorganismen oder Makrophyten; Wiederherstellung von bereits geschädigten ökologischen Zonen
- Hochwasserschutz (Hochwasser-Verminde-rungsmaßnahme)
Verhinderung oder Verringerung von unerwünschtem Hochwasser; auch Kontrollierung der Ausdehnung von erwünschten Überschwemmungen (natürlicher Nährstoffeintrag)
- Bekämpfung der Versalzung
Verminderung oder Verhinderung der Salzwasser-Verunreinigung von landwirtschaftlich, industriell oder häuslich genutztem Wasser; Erhaltung von Kulturland bei Versalzungsgefahr
- Bewässerungsmaßnahme
Einrichtung und Unterhalt von Be- und Entwässerungssystemen einschließlich der Anlagen zu Speicherung und Transport des Wassers; Nutzbarmachung und Verbesserung des Bodens; landwirtschaftliche Ertragssteigerung und Erweiterung der Anbaupalette
- Nutzung des Wasserkraftpotentials
Erzeugung von elektrischer Energie (insbesondere für industrielle Zwecke) aus Wasserkraft, die potentiell aus dem oberirdischen Wasserdargebot erzeugt werden könnte
- Schiffahrtsprojekt
Bau und Unterhalt von Kanälen und Häfen; Schiffbarmachung von Gewässern
- Öffentliche Wasserversorgung
Bereitstellung von industriellem Wasser für Industrie und Fabrikationszwecke, von gewerblichem Wasser für Handel und Gewerbe, von landwirtschaftlichem Wasser, von häuslichem Wasser für Wohnungen, von öffentlichem Wasser für Brunnen, Abwasser-

verdünnung und öffentliche Gebäude

- Fischerei
Anlage von Zuchtbecken und -einrichtungen für Krabben, Muscheln, Tang, Fischen; Bau und Unterhalt von Fischereihäfen sowie Anlagen zur Fischverarbeitung
- Erholungszwecke
Einrichtungen für Tourismus und Freizeitwassersport

1.2.2 Vorstudie

Da es sich um das Zusammentragen von bereits vorhandenen Daten handelt, kommt in dieser Planungsphase der Einsatz von Remote-Sensing-Daten nicht in Frage.

1.2.3 Feasibility - Studie

Für die Feasibility-Studie wird zunächst eine Bestandsaufnahme, meist durch Geländeaufnahmen, des gegenwärtigen Zustandes einer Region gemacht. Der Einsatz von Metric-Camera-Aufnahmen ist bei fast allen nachfolgend ausgewählten Bestandteilen einer solchen Studie denkbar:

- Bodenverhältnisse
- Wasserdargebot
Ermittlung von Abflußbeiwerten, Gebietskennzeichnungen, Einzugsgebieten auch benachbarter Gewässer; Schwebstofffracht, Salzgehalt
- Topographische Verhältnisse
Bewässerte Flächen, Kanaltassen, wasserbauliche Anlagen, Siedlungsverteilung, einzelne Gebäude, Straßen
- Klimadaten
Niederschlagsverteilung, Mikroklima, Mesoklima, Verdunstungspotential
- Struktur der Landwirtschaft
Anzahl der Betriebe, kultivierte Fläche, pflanzliche Produktion, ggf. System der Bewässerungslandwirtschaft

- außerdem soziale, gesellschaftliche, rechtliche Aspekte sowie eventuell Transport- und Vermarktungsmöglichkeiten der zu erzeugenden landwirtschaftlichen Produkte

Neben der Bestandsaufnahme wird die Organisation der Projektabwicklung (Bauausführung) festgelegt.

Die Grobplanung gibt Auskunft über Bezugsquellen des Baumaterials (Boden, Gestein, Grundwasser), bodenmechanische Kenngrößen sowie z. B. über das System der inneren Kombination von Be- und Entwässerung.

Der monetäre und nicht-monetäre Nutzen werden ermittelt sowie Nutzen-Kosten-Beziehungen aufgestellt.

1.2.4 Monitoring

Die Dokumentation von großräumigen Landschaftsveränderungen muß

- a) durch eine Landschaftsaufnahme vor dem Eingriff erfolgen, und zwar in einem Gebiet, das wesentlich größer ist als das Projektgebiet selbst, um großräumige Auswirkungen erfassen zu können (z. B. klimatische Änderungen; Veränderung des Wasserhaushaltes im gesamten Flußgebiet),
- b) während der Maßnahmen, um Schädigungen und Veränderungen direkt zu erfassen und
- c) nach dem Eingriff, um eventuell quantitative Feststellungen von Veränderungen des Ökosystems treffen zu können. Es sollen besonders die Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt (mit Grundwasser und Abflußregime) festgestellt werden.

Der Abschnitt des Monitoring war in früheren Planungen noch selten berücksichtigt worden. Inzwischen wird man sich der Tragweite großer Eingriffe in den Landschaftshaushalt bewußt.

1.2.5 Planungsmaßstäbe

Um die Einsatzmöglichkeiten von Metric-Camera-Aufnahmen besser einschätzen zu können, werden einige Beispiele zu den Größen-

ordnungen der einzelnen Planungsphasen vorgelegt. Als Beispiele werden derzeitige Projekte oder Projekte der jüngsten Vergangenheit angeführt. Sie entstammen mündlichen Mitteilungen oder der Literatur (→ Hinweise im Literaturverzeichnis).

- Project Finding

- Entwicklungsprogramm der Weltbank für NO-Brasilien (Gebiet Teresina - Recife - Salvador), 600 km x 800 km
- Entwicklungsprogramm der Weltbank für Äthiopien, 500 km x 500 km
- Siedlungsdichte und Infrastruktur in Ecuador, 300 km x 300 km
- Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Rio Cai (Süd-Brasilien), 400 km x 300 km

- Feasibility-Studie

- Wasserbauwerke am Oberen Ganges zur Verminderung der inselverändernden Hochwasser im Gangesdelta, 200 km x 100 km
- Bewässerungssystem für Reisbau in der Kano-Ebene (west-Kenia), 10 km x 20 km
- Ökosystem der Mangrovenwälder im Mekong-Delta, 20 km x 10 km

- Endgültige Planung

- Hafenbefestigung von Lomé (Togo) wegen Küstenlinienveränderung aufgrund von Sedimenttransport, 1 km x 0,5 km
- Flußbauten am Rio Magdalena (Kolumbien), gesamt 20 km x 15 km
- Industrie-Rohrzuckerplantagen in West-Afrika, gesamt je 2 km x 2 km
- Grundwasser-Nutzung in Mexico, gesamt 30 km x 50 km

- Monitoring

- Ausbreitung der Versalzungszone bei Errichtung eines Mündungsdammes am Gambia-Fluß, 30 km x 5 km
- Ökologische Zonierung bei Manta- Bahia de Caraquez (Ecuador) bei Forstnutzung; Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, 30 km x 50 km
- Flußlaufsveränderungen nach Hochwasser des Amazonas unterhalb von Manaus, 600 km x 50 km
- Veränderungen der Amazonaswälder aufgrund von Abholzungen durch bestimmte (hier nicht genannte) Firmen, je 30 km x 30 km
- Bodenveränderungen im Euphratgebiet (Syrien), 200 km x 50 km

Planungsphase	Planungsmaßstäbe	Flächeninhalt einer	Wünschenswerte
		50 cm x 60 cm -Karte (km ²) *)	Wiederholung
Project Finding	1 : 1 Mio ... 1 : 100 000	300 000 ... 3 000	1 ... 2 Jahre
Feasibilty-Studie	1 : 250 000 ... 1 : 50 000	18 750 ... 750	1 ... 2 Jahre
Endgültige Planung	1 : 10 000 ... 1 : 1	30 ...	nur 1 Aufnahme
Monitoring	1 : 250 000 ... 1 : 50 000	18 750 ... 750	1 ... 10 Jahre

*) durchschnittliche Kartengröße, die von Reproanstalten verarbeitet werden kann

Fig. 1-1: Planungsmaßstäbe und Planungsflächen

Die Gegenüberstellung von Projektfläche und Maßstab der kartographischen Darstellung kann nur Anhaltswerte liefern (→ Fig. 1-1). Im einzelnen sind häufig auch größere Maßstäbe für Ausschnitte erforderlich. Man wird dann in einzelnen Fällen eine Art "Zoom-Effekt" anwenden müssen, das heißt, daß man in kleinmaßstäbigere (z. B. Metric-Camera-) Aufnahmen detail-genauere Luftbildaufnahmen einpassen muß (TRICART, 1982).

In Fig. 1-2 sind wesentliche Fernerkundungssysteme mit ihrer jeweils auf einer Aufnahme abgebildeten Bodenfläche zusammengestellt. Vergleicht man die abgebildete Fläche mit der gewünschten Fläche der Planungen (bzw. der Flächeninhalte zugehöriger Karten), so gilt folgendes:

- Metric-Camera-Aufnahmen sind unter dem hier behandelten Aspekt der Flächendeckung in den Planungsphasen Project Finding, Feasibility-Studie und Monitoring gut einsetzbar.
- Gleiches gilt für die LANDSAT-Aufnahmen.
- MOMS ist für große Areale mit kleinen Maßstäben wegen der gestiegenen Anzahl von 21 notwendigen Aufnahmen nur eingeschränkt einsetzbar. In den Phasen der Feasibility-Studie und des Monitoring gut verwendbar.
- SPOT-Aufnahmen können meist ebenso verwendet werden, allerdings nicht für große Areale im Project Finding.
- Aufnahmen der Ultra High Altitude Photography sind beim Project Finding nicht und

in der Feasibility-Studie und dem Monitoring wegen erhöhter Stückzahl nur begrenzt verwendbar. Allerdings gibt es größere Bauprojekte, bei deren endgültiger Planung eventuell solche Aufnahmen bereits ausreichen (z. B. Baumaterial aus in-situ-Beschaffung).

- Luftbilder können ausschließlich bei der endgültigen Bauplanung sinnvoll eingesetzt werden, da sonst eine zu große Anzahl zur Flächendeckung notwendig wäre.

Es sei noch einmal an den "Zoom-Effekt" von "Ausschnittsvergrößerungen" erinnert, so daß selbst einzelne Luftaufnahmen bei einer Feasibility-Studie gute Dienste leisten können.

1.2.6 Wasserwirtschaftlicher Regionalplan

In einem wasserwirtschaftlichen Regional- oder Rahmenplan werden möglichst umfassend alle hydrologischen und planerischen Parameter aufgeführt.

Da es sich bei dem hier gewählten Testgebiet, dem Rhône-Delta, jedoch um ein Gebiet mit Flachrelief handelt, können einige der sonst äußerst wichtigen hydrologischen Parameter im Rahmen dieser Arbeit nicht erörtert werden (z. B. Größe und Ausstattung der Einzugsgebiete, Niederschlagsbeiwerte, Abflußbeiwerte, Geländerauhigkeit ...). Demgegen-

Fernerkundungssystem	abgebildete Fläche (km ²)		Proj. Find.	Feas. Stud.	Endg. Plan.	Monitoring
Metric Camera	189 km x 189 km	35 700	9 ... 1	1 .1.	1	1
LANDSAT	185 km x 185 km	34 200	9 ... 1	1	-	1
MOMS	90 km x 160 km	14 400	21 ... 1	2 ... 1	-	2 ... 1
SPOT	60 km x 60 km	3 600	84 ... 1	6 ... 1	-	6 ... 1
Ultra High Altitude Photography	28 km x 28 km	785	383 ... 4	24 ... 1	1	24 ... 1
Luftbild	2.3 km x 2.3 km	5.3	56 600 ... 566	350 ... 142	6 ... 1	350 ... 142

Fig. 1-2: Fernerkundungssysteme und deren Eignung für den Einsatz in den Planungsphasen

Über wird der Versuch unternommen, hydrologische Strukturen, ökologische Zonen sowie die wasserwirtschaftliche Ausstattung des Raumes aus der Metric-Camera-Aufnahme zu kartieren. Es werden somit in der vorliegenden Arbeit Untersuchungen über wichtige Parameter angestellt, wie sie sowohl in der Stufe des Project Findings, der Feasibility-Studie oder des Monitoring zu einem wasserwirtschaftlichen Regionalplan von Bedeutung sind.

Mit Hilfe von Metric-Camera-Aufnahmen sollen

hier nun folgende Fragen geklärt werden:

- Dokumentation des Gewässernetzes
- Lagunenklassifikation
- Erfassung des Küstenverlaufs und seiner Änderungen
- Differenzierung von landwirtschaftlichen Nutzungsklassen
- Salzwasser- / Süßwassergrenze
- Struktur von Salzgewinnungsanlagen
- Erfassung von Wasserbauwerken
- Infrastruktur und Siedlungsverteilung

2 METRIC CAMERA (ALLGEMEINE UND TECHNISCHE ASPEKTE)

Ziel des Metric Camera Experiment war es, stereoskopisch auswertbare photographische Weltraumaufnahmen mit hohem Auflösungsvermögen zu erhalten, mit deren Hilfe man topographische und thematische Karten bis zum Maßstab 1 : 100 000 / 1 : 50 000 auf photogrammetrischem Wege erzeugen kann (KONECNY, 1984).

Seit 1979 wurde mehrmals versucht, den potentiellen Kartenbedarf in Ländern der Dritten Welt zu ermitteln. Insbesondere für Afrika hat MILLER (1979) einen sehr hohen Bedarf festgestellt. Er setzt allerdings die Differenz zwischen vorhandener Kartenabdeckung im Maßstab 1 : 50 000 zu Vollabdeckung gleich dem Bedarf und kommt dabei auf 72 %. Weltweit kommen KONECNY, SCHUHR und WU (1982), sich auf eine UN-Studie stützend, auf 63 %. Darüber hinaus sehen sie insbesondere auch Möglichkeiten für die aktualisierende Kartenfortführung bereits bestehender Kartenwerke. KONECNY, MISKI and SCHROEDER (1980) verfolgen das konkrete Ziel, von der gesamten Erde einen Atlas im Maßstab 1 : 50 000 und im Maßstab 1 : 250 000 zu erstellen.

2.1 Metric Camera (Gerät)

Bei der Metric Camera handelt es sich um die Reihenmeßkammer RMK A 30/23, eine Luftbildkamera Aerographic mit 30 cm Brennweite und einem Bildformat von $A = 23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$. Die Luftbildkamera wurde mit 30 kleineren Veränderungen zur Anpassung an die Weltraumbedingungen umgerüstet.

Das Objektiv besteht aus 7 Linsen des Types Topar A1 und hat eine kalibrierte Brennweite von $f = 305.128 \text{ mm}$.

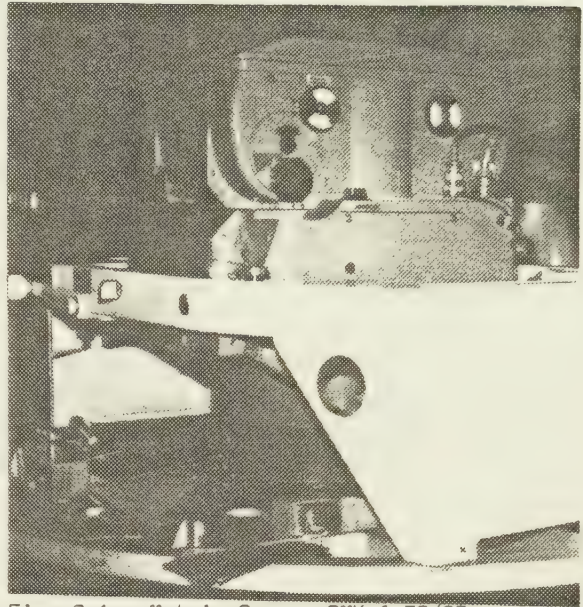


Fig. 2-1: Metric Camera RMK A 30/23

Das Filmmagazin wurde bestückt mit einem Schwarzweißfilm Kodak Double-X Aerographic Film 2405 mit 21 DIN (ursprünglich war der Einsatz von Aviphot PAN 30 / 21 DIN geplant) bzw. einem Farbinfrarotfilm Kodak Aerochrome Infrared Film 2443. Das Filmformat beträgt $24 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ bei 150 m Filmlänge, so daß 660 Aufnahmen pro Film möglich waren.

Die Verschußzeiten waren variabel in 31 Stufen zwischen $t = 1/250 \text{ s}$ und $t = 1/1000 \text{ s}$. Die Blendenöffnung hatte 31 Stufen zwischen $k = 5.6$ und $k = 11.0$.

Dieses Gerät wurde auf das Spacelab 1 montiert und mit dem Space-Shuttle-Flug Nr. 9 mit einer Inklination von 57° auf eine Erdumlaufbahn in 244-257 km Höhe bei einer Geschwindigkeit von 7.7 km s^{-1} gebracht.

Es wurden insgesamt 540 Farbinfrarot-Aufnahmen und 470 Schwarzweiß-Aufnahmen über 65 Ländern gemacht. Die Überlappung betrug meist 60 %, allerdings über einigen Gebieten, Europas, NW-Afrikas und über dem Himalaya auch 80 %, sodaß eine Stereoauswertung der Metric-Camera-Aufnahmen in besonderem Maße möglich sein sollte.

C-IR (insgesamt 540 Aufnahmen)

	wolkenlos	teilw. bewölkt	völlig bewölkt	
80 % Überlappung	3 %	1 %	12 %	= 16 %
60 % Überlappung	37 %	29 %	18 %	= 84 %

B&W (insgesamt 470 Aufnahmen)

	wolkenlos	teilw. bewölkt	völlig bewölkt	
80 % Überlappung	20 %	8 %	2 %	= 30 %
60 % Überlappung	20 %	22 %	28 %	= 70 %

Fig. 2-2: Bewölkungsgrad und Überlappung der Metric-Camera-Aufnahmen

2.2 Metric Camera im Vergleich mit anderen photographischen Systemen

2.2.1 Missionen

Gemini	8 Missionen	23.03.65-15.11.66 (38 Tage)	1 450 Aufnahmen
Apollo	6 Missionen	04.04.68-19.12.72 (59 Tage)	~ 1 500 Aufnahmen
Skylab	3 Missionen	25.05.73-08.02.74 (142 Tage)	~ 35 000 Aufnahmen
Metric Camera	1 Mission	02.12.83-07.12.83 (6 Tage)	~ 1 000 Aufnahmen

Fig. 2-3: Ausgewählte photographische Weltraumaufnahmen

2.2.2 Flächendeckung

Aus der Brennweite f , der Flughöhe h und dem Bildformat A berechnet sich die abgebildete Fläche der Erdoberfläche A^* .

Mission	f / Auflösung	Flughöhe	Filmformat	Bodenfläche
Metric Camera	305.128 mm	244 km	23 cm x 23 cm	35 721 km ²
Gemini	80 mm	200 km	7 cm x 7 cm	30 625 km ²
Apollo	80 mm	192/490 km	7 cm x 7 cm	28 224/ . km ²
Skylab A	150 mm	435 km	7 cm x 7 cm	41 209 km ²
Skylab B	460 mm	435 km	12.5 x 12.5 cm ²	13 953 km ²
UHAP (Ultra High Altitude Photography)	150 mm	15-21 km	23 cm x 23 cm	785 km ²
AP (Aerial Photography)	300 mm	3 km	23 cm x 23 cm	5.3 km ²
LANDSAT 2	80 m	915 km	185 km	34 225 km ²
LANDSAT 3	80 m	915 km	185 km	34 225 km ²
LANDSAT 4	30-240 m	914 km	185 km	34 225 km ²
HCMM (Heat Capacity Mapping Mission)	600 m	620 km	700 km	490 000 km ²
METEOSAT	2.5 km	35 800 km	± 60 %	.
SPOT	10-20 m	822 km	60 km	3 600 km ²
MOMS (Modular Optoelectro- nical Multispectral Scanner)	15-100 m	750 km	120/240 km	14 400/57 600 km ²

Fig. 2-4: Flächendeckung ausgewählter Remote-Sensing-Systeme

2.2.3 Aufnahmespektren

Metric Camera (B & W)	0.40 ... 0.73 μm
Metric Camera (planned)	0.30 ... 0.72 μm
Metric Camrea (C-IR)	0.40 ... 0.92 μm
Landsat 1/2 (phot.)	0.47 ... 0.83 μm
Landsat 3 (phot.)	0.50 ... 0.75 μm
Meteosat	0.40 ... 1.10 μm 5.70 ... 7.10 μm 10.50 ... 12.50 μm
Seasat	0.49 ... 0.94 μm
HCMM	0.55 ... 1.10 μm 10.50 ... 12.50 μm
SPOT	0.50 ... 0.59 μm 0.61 ... 0.69 μm 0.79 ... 0.90 μm
SPOT (pan.)	0.51 ... 0.73 μm
MOMS	0.53 ... 0.57 μm 0.58 ... 0.62 μm 0.63 ... 0.67 μm 0.76 ... 0.95 μm 1.60 ... 1.70 μm 2.10 ... 2.30 μm 10.50 ... 12.50 μm

MSS Landsat 2	0.50 ... 0.60 μm 0.60 ... 0.70 μm 0.70 ... 0.80 μm 0.80 ... 1.10 μm
MSS Landsat 3	0.50 ... 0.60 μm 0.60 ... 0.70 μm 0.70 ... 0.80 μm 0.80 ... 1.10 μm 10.40 ... 12.60 μm
MSS Landsat 4	0.50 ... 0.60 μm 0.60 ... 0.70 μm 0.70 ... 0.80 μm 0.80 ... 1.10 μm 10.40 ... 12.60 μm
Thematic Mapper	0.45 ... 0.52 μm 0.52 ... 0.60 μm 0.63 ... 0.69 μm 0.76 ... 0.90 μm 1.55 ... 1.75 μm 2.08 ... 2.35 μm 10.40 ... 12.50 μm
Nimbus 7	0.43 ... 0.45 μm 0.51 ... 0.53 μm 0.54 ... 0.56 μm 0.66 ... 0.68 μm 0.70 ... 0.80 μm 10.50 ... 12.50 μm

Fig. 2-5: Aufnahmespektren ausgewählter Remote-Sensing-Systeme

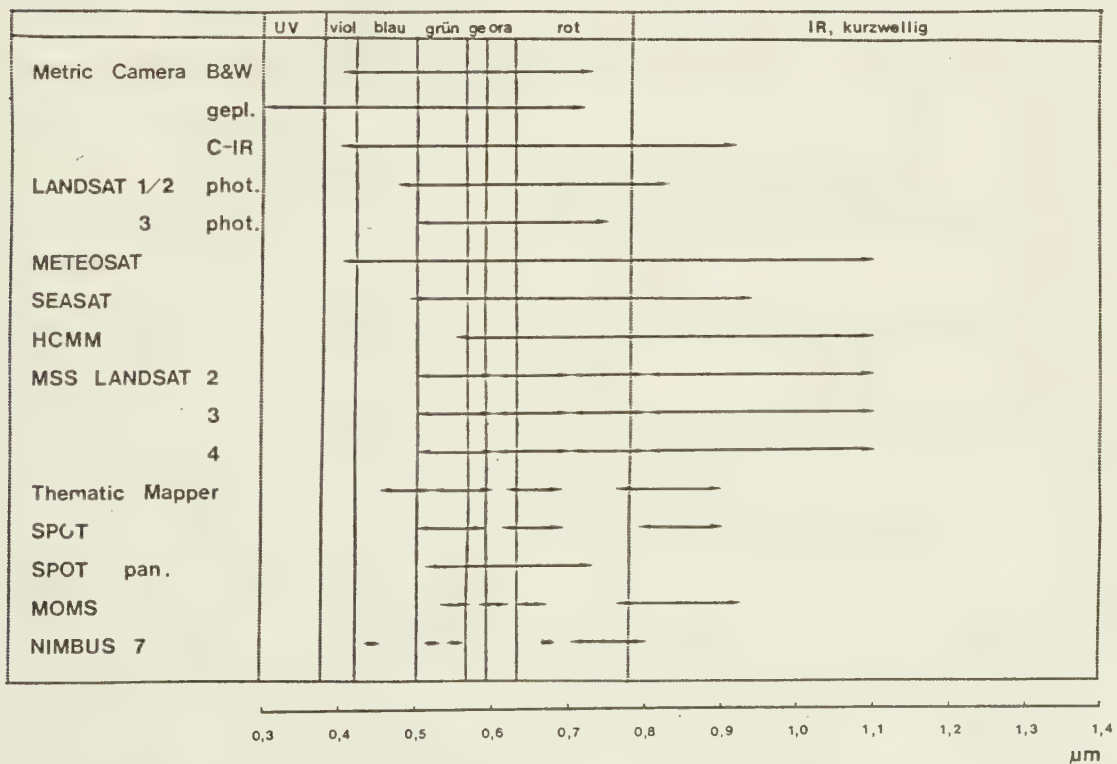


Fig. 2-6: Aufnahmespektren ausgewählter Remote-Sensing-Systeme im Wellenlängenbereich von 0.3 μm bis 1.4 μm

2.3 Flugtechnische Daten

Die drei in dieser Untersuchung monoskopisch analysierten Bilder des Rhône-Deltas liegen auf dem Flugstreifen Nr. 25, der von südlich der Kapverdischen Inseln entlang der nordwestafrikanischen Atlantikküste und entlang der spanischen Mittelmeerküste weiter über den Golfe du Lion und die Westalpen,

das nördliche Alpenvorland mit dem bekannten Metric-Camera-Bild "München" bis hin zum Böhmerwald führt.

Nadirpunkt der ersten Aufnahme des Flugstreifens: 12°18'N 23°18'W

Nadirpunkt der letzten Aufnahme des Flugstreifens: 48°54'N 13°54'E

Der gesamte Streifen wurde mit 80 % Überlappung aufgenommen (5 600 km in 12 min 9.438 s).



Fig. 2-7: Flugstreifen Nr. 25 mit der Lage der zentralen Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta"

Data of the Mission:	STS 9 / Spacelab 1, Metric Camera Experiment (28 Nov - 08 Dec 83)		
Altitude:	~ 244 km		
Inclination:	57°		
Camera Type:	Zeiss RMK A 30/23, modified for the use in the Spacelab (without image motion compensation)		
Calibrated Focal Length:	305.128 mm		
Film:	Kodak Double-X Aerographic 2405 (black and white)		
Image Format:	23 cm x 23 cm		
Flight Path:	No. 25		
Date:	05 Dec 83	05 Dec 83	05 Dec 83
Data Acquisition Time:	09-00-06 GMT	09-00-11 GMT	09-00-16 GMT
Sun Elevation:	15°	15°	15°
Sun Azimuth:	144°	144°	144°
Frame No.:	01-0863-25	01-0864-25	01-0865-25
Approximate Center:	43°36'N 04°24'E	43°48'N 04°42'E	44°00'N 05°06'E
Image Scale:	~ 1 : 800 000	~ 1 : 800 000	~ 1 : 800 000

Das Institut Géographique National (IGN) ließ eine fast synchrone Unterfliegung zur MC-Aufnahme durchführen. Der Flugstreifen mit 34 Aufnahmen beginnt nordwestlich von Marseille und führt über Aix-en-Provence, das Verdon-Tal und die Provençalischen Alpen bis an die französisch-italienische Grenze in den Meeralpen.

Nadirpunkt der ersten Aufnahme des IGN-Flugstreifens: $43^{\circ}15'N$ $05^{\circ}07'E$
Nadirpunkt der letzten Aufnahme des IGN-Flugstreifens: $44^{\circ}23'N$ $06^{\circ}53'E$
Der gesamte Streifen wurde mit 60 % Überlappung aufgenommen
Der IGN-Flugstreifen liegt unter der Metric-Camera-Aufnahme 01-0866-25.

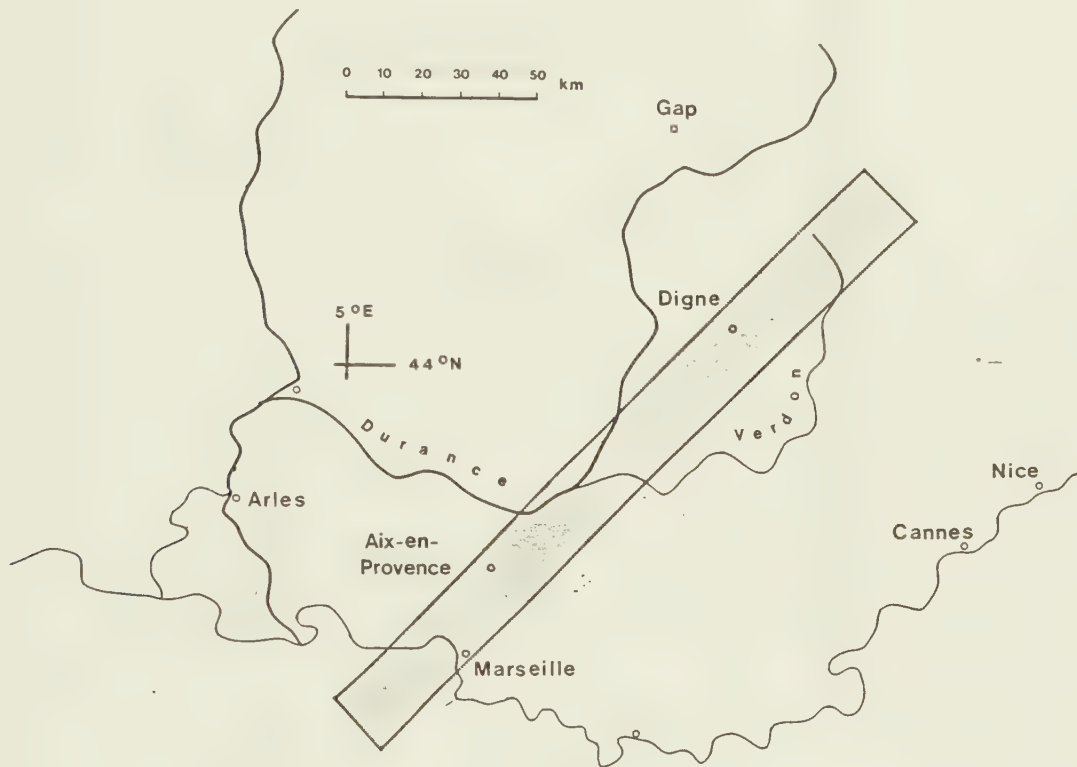
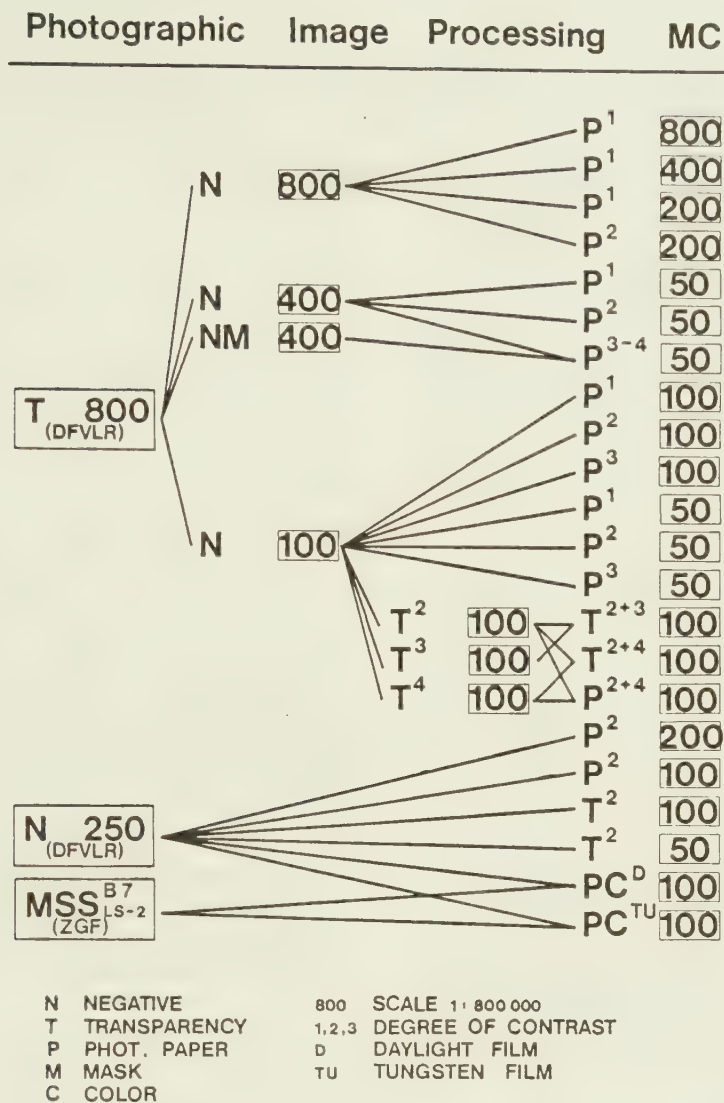


Fig. 2-8: Flugstreifen der IGN-Unterfliegung vom 05. Dezember 1983

Data of the Mission:	Metric Camera Underflight by IGN, Paris
Altitude:	10.525 km above sea level
Inclination:	57°
Camera Type:	15 UAg 1068
Calibrated Focal Length:	152.16 mm
Image Format:	23 cm x 23 cm
Date:	05 Dec 83
Data Acquisition Time:	11-42 GMT ... 12-00 GMT
Sun Elevation:	$\sim 24^{\circ}$... 25°
Frame No.:	1983 ESS. 174 (1-34)
Image Scale:	1 : 56 000 ... 1 : 69 000

2.4 Photographische Bildverarbeitung der MC - Aufnahme



K. HALM, 1985

Fig. 2-9: Photographische Bildverarbeitung der MC-Aufnahme "Rhône-Delta"

2.4.1 Ausgangsmaterial

- Die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DFVLR) übersandte ein transparentes Diapositiv in der Originalgröße $A = 23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$, also im Originalmaßstab $m = 1 : 800\,000$.
- Außerdem wurde im Photolabor der DFVLR eine kontrastverstärkte Negativ-Ausschnittsvergrößerung hergestellt.
Format: $30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$
Maßstab: $\sim 1 : 250\,000$

Diese beiden Ausgangsprodukte standen zur photographischen Bildverarbeitung des MC-Materials zur Verfügung (→ Fig. 2-9).

2.4.2 Negativprozeß

Die nachfolgenden Arbeiten sowohl des Negativprozesses als auch des Positivprozesses wurden ausgeführt von:

- V. Kraus (Reprotechnikerin), Institut für Geographie der LM-Universität, München
- Firma 3F-Fachlabor Dr. Frickhinger GmbH & Co. KG, München
- Firma Reger Studios GmbH, München
- Firma MUC Composing GmbH, München

Da als Ausgangsmaterial vor allem das von der DFVLR gelieferte Diapositiv diente, wur-

den während des Negativprozesses Zwischenegative für die spätere Positivverarbeitung hergestellt.

Der Negativprozeß beruht zunächst auf der Tatsache, daß eine lichtempfindliche Schicht eines Filmes ein Eingangssignal empfängt:

$$H = E \cdot t \quad (1 \times s) \quad (\text{Gl. 2.4.1})$$

H : Belichtung

E : Beleuchtungsstärke

t : Beleuchtungszeit

Nach der Entwicklung erhält man das Ausgangssignal:

$$O = \frac{1}{T} \quad (\text{Gl. 2.4.2})$$

O = Opazität (Undurchlässigkeit)

T = Transmissionsgrad

Der Zusammenhang zwischen der Belichtung H des Eingangssignals und der Schwärzung der Emulsion (Dichte) D wird in einer Schwärzungskurve spezifisch für die betreffende photographische Schicht dargestellt. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, erfolgt die Darstellung als lg-Funktion ($\rightarrow$ Fig. 2-10).

Nach dem unteren Abschnitt der Schwärzungskurve bis zum Schwellenwert (p^1) (Schleierdichte) werden im sogenannten "Durchhang" (p^1 bis p^2) Belichtungsänderungen $\Delta \lg H$ nur

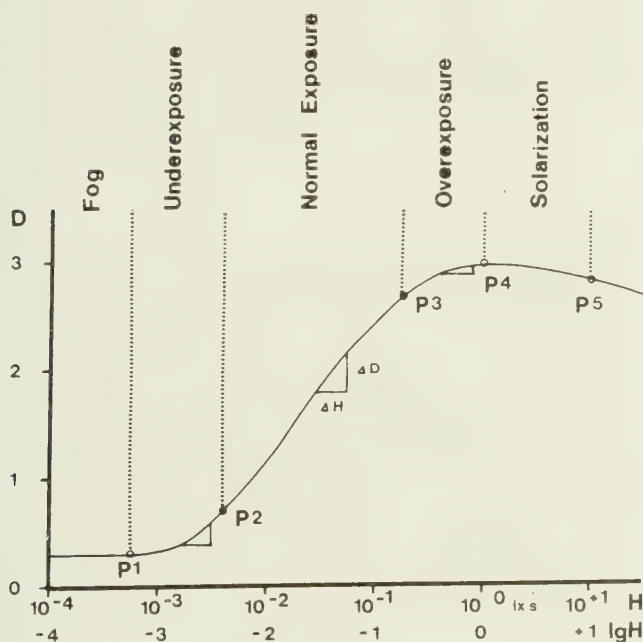


Fig. 2-10: Beispiel für eine Schwärzungskurve einer photographischen Schicht (nach SCHRÖDER, 1981)

in kleine Dichteänderungen ΔD umgesetzt. Dies ist der Bereich der Unterbelichtung.

Im Bereich der Normalbelichtung (p^2 bis p^3) verläuft die Kennlinie annähernd linear. Die "Schulter" (p^3 bis p^4), dem Bereich der Überbelichtung, endet mit dem Wert der Maximalschwärzung; anschließend senkt sich die Kurve wieder (Bereich der Solarisation, Dichteumkehr).

Im Bereich der Normalbelichtung gibt die Steilheit als Quotient $\Delta D : \Delta \lg H$ die Übersetzung von Belichtungsverhältnissen in Dichteunterschiede an und zeigt damit die Kontrastwiedergabe der entwickelten Schicht. Dies ist der Gammawert.

$$\gamma = \frac{\Delta D}{\Delta \lg H} \quad (\text{Gl. 2.4.3})$$

Ist $\gamma = 1$, so werden die Helligkeitsverhältnisse (Kontrast) des Objektes in entsprechende gleich große Helligkeitsverhältnisse des Negativs umgesetzt. Der Modulationsübertragungsfaktor ist dann $T = 1$, d. h. der Bildkontrast ist gleich dem Objektkontrast.

$$T = \frac{M'}{M} \quad (\text{Gl. 2.4.4})$$

M' : Modulation (Kontrast) der Bildstruktur

M : Modulation der Objektstruktur

Nach SCHRÖDER (1981) ist es möglich, qualitative Kontrastangaben in ein Schema der Gammawerte einzuordnen:

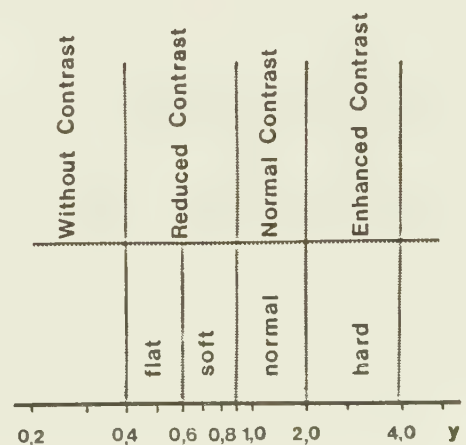


Fig. 2-11: Gammawert und Kontrast

	Unterentwicklung	Normalentwicklung	Überentwicklung
Unterbelichtung	detaillos	Details kaum erkennbar; wenig gedeckt	Details schwach erkennbar; dicht
Normalbelichtung	Details wenig sichtbar; wenig gedeckt	Details gut durchgezeichnet; dicht, noch durchsichtig	Details gut durchgezeichnet; sehr dicht
Überbelichtung	Details gut; dicht	Details sehr gut; sehr dicht	Details sehr gut durchgezeichnet; extrem dicht

Fig. 2-12: Bewertung von Negativen (nach SCHRÖDER, 1981)

Es wurden eine Reihe von Experimenten zur Erzielung des geeignetsten Negativs ausgeführt. Aus der Kombination von Belichtungsvariation und Entwicklungsvariation ergaben sich empirisch die besten Werte. Dies konnte allerdings erst festgestellt werden, nachdem einige Versuche des Positivprozesses erfolgt waren (→ Fig. 2-9).

2.4.3 Positivprozeß

Auch nach Durchführung des Positivprozesses sollen im Idealfall die Leuchtdichteverhältnisse mit denen des Objektes (hier: DFVLR-Diapositiv) übereinstimmen.

$$\gamma_{ges} = \gamma_{obj} \cdot \gamma_{neg} \cdot \gamma_{pos} = 1 \quad (Gl. 2.4.5)$$

Ebenso ergibt sich die Detailwiedergabe aus dem Produkt der Modulationsübertragungsfunktionen von Negativ- und Positivprozeß. In Reihenuntersuchungen (ILFORD, 1980) wie auch empirisch im Photolabor des Instituts für Geographie der LM-Universität, München, wurde die Erfahrung gemacht, daß ein besseres Ergebnis hinsichtlich der Detailwiedergabe erzielt wurde, wenn

$$\gamma_{neg} < \gamma_{pos}$$

war. Als ungünstiger erwies sich der Versuch, von einem harten Negativ weiche Positive anzufertigen.

Zur optimalen Anpassung des Positiv-Gammapwertes an die Kontrastwiedergabe des Negativs wurden Kopier- und Vergrößerungspapiere in unterschiedlichen Gradationsstufen benutzt:

Gradationsnummer (Ilford)	1	2	3
	weich	normal	hart
Kopierumfang Δlg H	1.4	1.2	1.0

Nach neueren Entwicklungen könnte die Gradationssteuerung auch durch den Einsatz eines

Papiers mit variabler Gradation erfolgen. Dabei werden die Positivarbeiten mit wahlweise einem von sieben Vorsatzfiltern gemacht, der Bildkontrast wird also durch Änderung der spektralen Zusammensetzung des Kopierlichtes verändert. Allerdings sind längere Belichtungszeiten zu erwarten.

2.4.4 Kontrastverstärkung

Zur zusätzlichen Erhöhung der Kontraste M' innerhalb einer Positivvergrößerung wurden von mir zwei Verfahren der Addition von Tonwerten gleicher Bildpunkte entwickelt:

- Vom Ausgangsmaterial wurden ein normalbelichtetes und normalentwickeltes Negativ sowie ein leicht überbelichtetes und unterentwickeltes Negativ hergestellt. Beide Negative wurde beim Positivprozeß überlagert.
Ergebnis: Ein Positivabzug mit sehr guter Detailzeichnung und erhöhter Dichte. Durch diese Art photographischer, scharfer Maske wurde ein Effekt erzielt, der der Kantenverstärkung der digitalen Bildverarbeitung vergleichbar ist. Besonders geeignet zur Erkennung von linearen Elementen.
- Von einem normalbelichteten und normalentwickelten Negativ wurden zwei transparente Diapositive exakt gleicher Vergrößerungsstufe und gleicher Modulationsübertragung angefertigt. Bei der Überlagerung ergeben sich Verdopplungen der Tonwerte der einzelnen Bildpunkte.
Ergebnis: Verdopplung der Modulation der Transmissionsgrade, also verdoppelte Kontrastwirkung. Besonders geeignet zur Unterscheidung von flächigen Strukturen und Texturen.

2.4.5 Vergrößerungen

Der Original-Maßstab der MC-Aufnahme ist $m = 1 : 800\ 000$.

Nach Erstellung der Zwischenegative werden aus zwei Gründen beim Positivprozeß Vergrößerungen vorgenommen:

- Leichtere Erkennbarkeit einzelner linearer oder flächenhafter Strukturen im Bild.
- Da in einzelnen ausgewählten Bildausschnitten die Leuchtdichteverteilung γ_{pos} kleiner ist als im gesamten Bild), besteht die Möglichkeit, beim Positivprozeß eine bessere Ausnutzung der Modulationsbreite M' zu erreichen.
Ergebnis: Vergrößerungen Γ höherer Ordnung sind kontraststärker als niedrigerer Ordnung.
Allerdings ist die Vergrößerungsreihe nicht beliebig fortsetzbar. Bei $\Gamma = 16$ tritt das einzelne Bildkorn so stark in den Vordergrund, daß die Strukturen in dem Bild zu zerfließen scheinen.

In Fig. 2-9 sind die wichtigsten Produkte des Positivprozesses enthalten. Aus der Kombination verschiedener Kontraststärken und unterschiedlicher Vergrößerungsstufen (= Maßstäbe) ergaben sich photographische Arbeitsmaterialien, die optimal je nach Fragestellung ausgenutzt werden konnten.

Fig. 2-13 zeigt einen Ausschnitt einer kontrastausgeglichene Papiervergrößerung im Maßstab $1 : 100\ 000$ ($P^1\ 100$), Fig. 2-14 den gleichen Ausschnitt als eine kontraststarke Papiervergrößerung ($P^3\ 100$) gleichen Maßstabs.

Die beiden überlagerten Diapositiv-Vergrößerungen unterschiedlicher Kontraststärke aber exakt gleicher Vergrößerungsstufe ($\rightarrow$ Kap. 2.4.4) wurden auf einem Leuchtkasten liegend mit einem Schwarzweißfilm photographiert, das Negativ normal entwickelt und die Positiv-Vergrößerung dann in Fig. 2-15 abgebildet. Das Produkt ($P^{2+4}\ 100$) stellt trotz der für die Wiedergabe in der vorliegenden Arbeit erforderlichen Zwischenschritte eine erhebliche Verbesserung gegenüber den anderen Positivprodukten dar.

In Fig. 2-16 wird vergleichsweise die Kontaktkopie im Originalmaßstab $1 : 800\ 000$ der Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" abgebildet.



Fig. 2-13: Ausschnittsvergrößerung der Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" (01-0864-25)

(p^1 100), $\Gamma = 8$



Fig. 2-14: Ausschnittsvergrößerung der Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" (01-0864-25)

(μ^3 100), $\Gamma = 8$



g. 2-15: Auschnittsvergrößerung der Metric-Camera Aufnahme "Rhône-Delta" (01-0864-25)

(1:100,000), $F = 0$ ($m = 1 : 100\,000$)

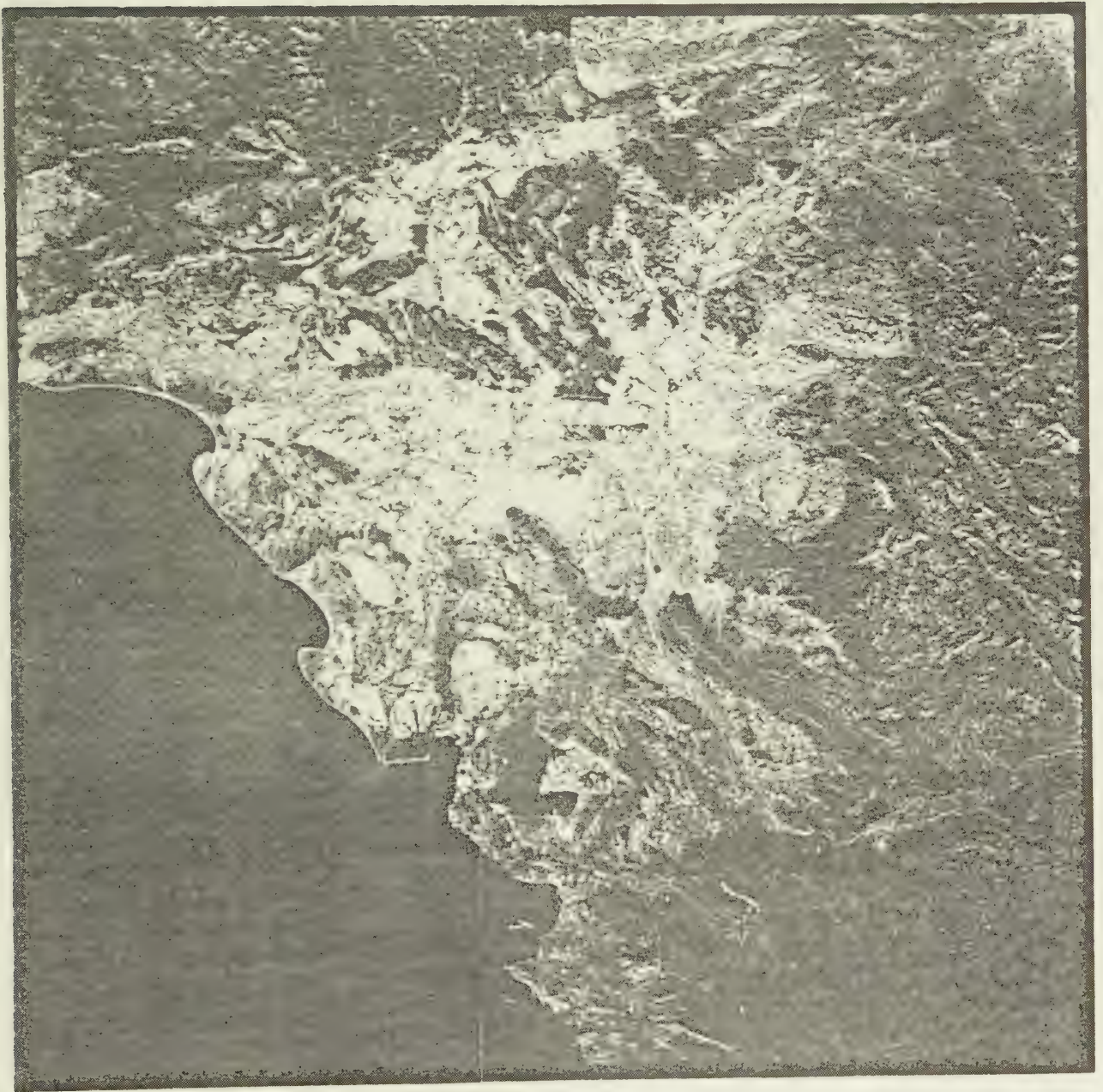
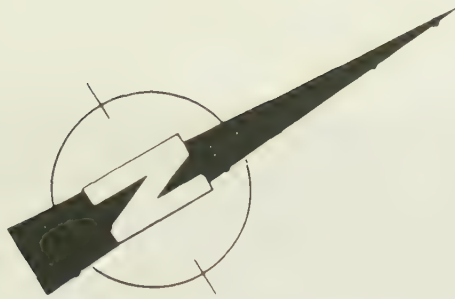


Fig. 2-16: Kontaktabzug der Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" (01-0864-25)
(p^1 800), $\Gamma = 0$ ($m = 1 : 800\ 000$)

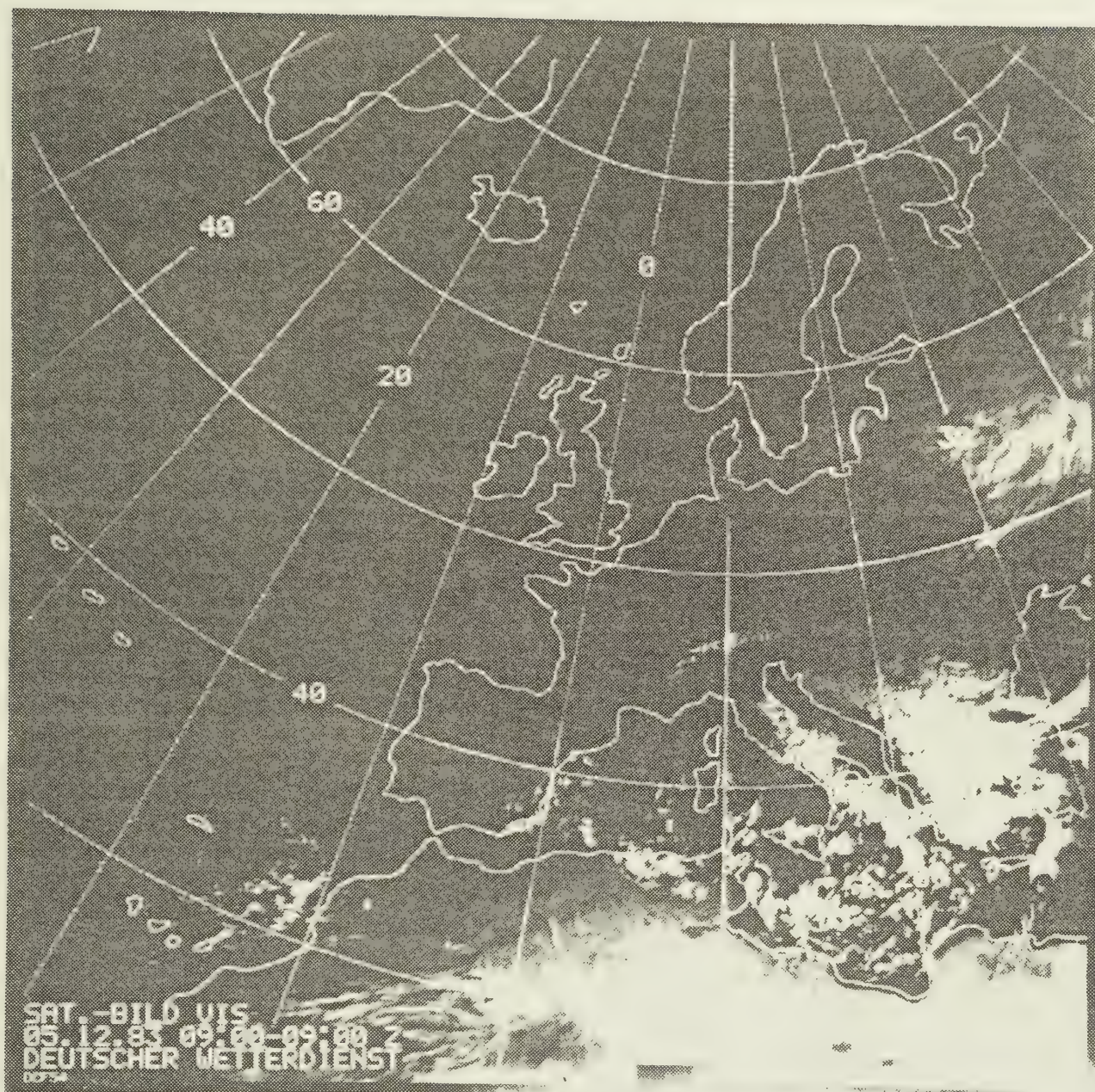


Fig. 2-17: METEOSAT-Aufnahme (High Resolution), Ausschnitt Europa, sichtbarer Bereich (0.40 ... 1.10 μm), 05 Dec 83, 09-00 GMT

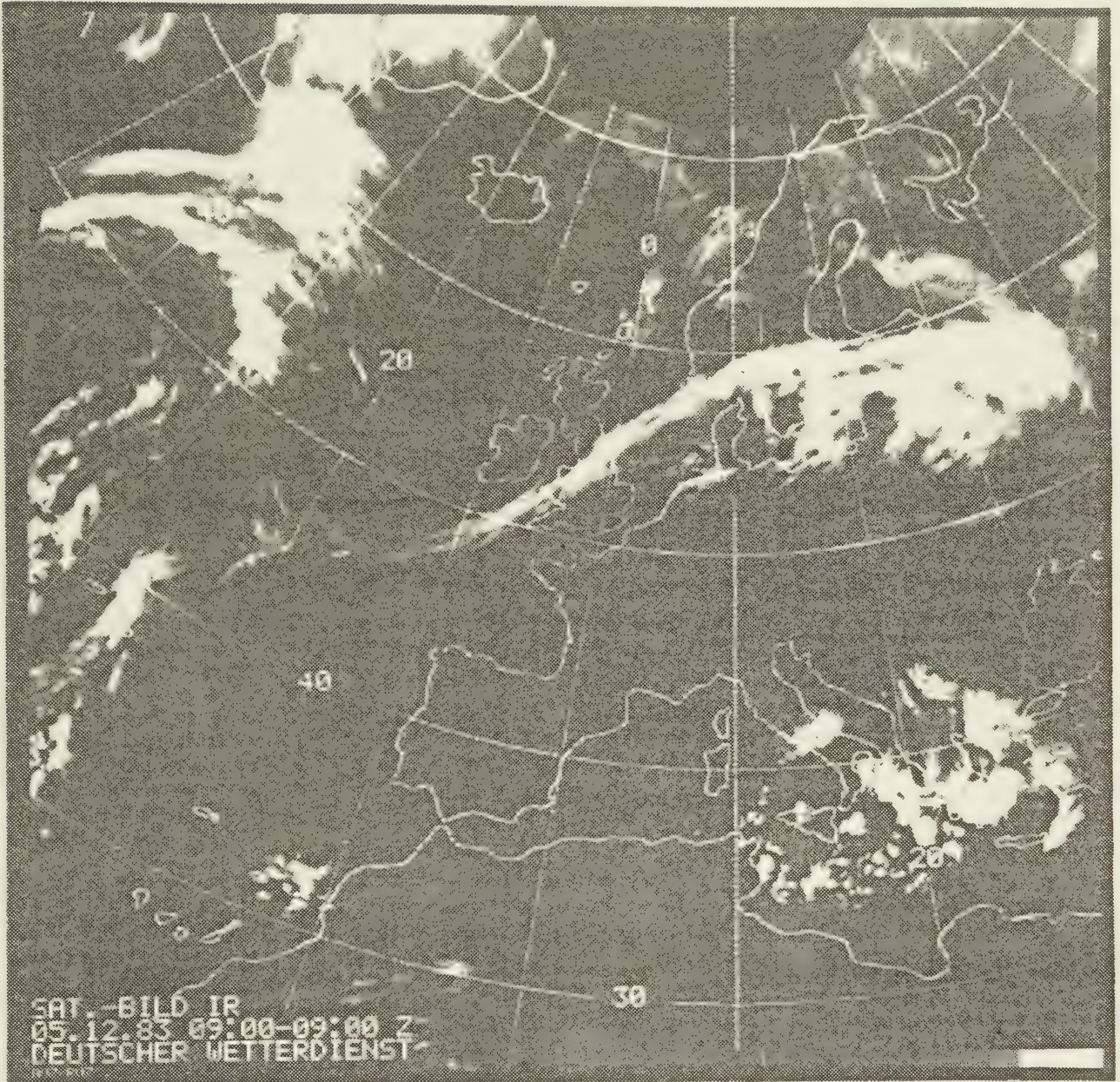


Fig-2-18: METEOSAT-Aufnahme (High Resolution), Ausschnitt Europa,
infraroter Spektralbereich (10.50 ... 12.50 μm), 05 Dec 83, 09-00 GMT

2.5. Witterungsverhältnisse zum MC - Aufnahmezeitpunkt

In Fig. 2-17 und Fig. 2-18 sind die Sektorbilder des METEOSAT / High Resolution - Bildes wiedergegeben. Sie zeigen in polarstereoskopischer Projektion Europa in der Aufnahme des sichtbaren und des unteren nahen infraroten Bereichs ($0.40 \dots 1.10 \mu\text{m}$) und des thermischen Infrarotbereiches ($10.50 \dots 12.50 \mu\text{m}$). Die Aufnahmen entstanden am 05. Dezember 1983 um 09-00 GMT. Sie wurden von der Empfangsstation der European Space Agency (ESA) in der Nähe von Darmstadt empfangen und anschließend vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach, verarbeitet.

Auf diesen Bildern sind deutliche Wolken- und Dunstfelder über West- und Nordeuropa zu erkennen. Sie sind bedingt durch ein ausgeprägtes Tief südlich Island, das in Richtung Skandinavien weiterzieht.

Gleichzeitig dehnt sich ein kontinentales Hoch nach Westen aus ($\rightarrow$ Fig. 2-21). Eine deutliche Kaltfront erstreckt sich von Großbritannien nach Skandinavien, und über der Biskaya besteht ein kräftiges Höhenhoch. Dabei verlagert sich eine vollentwickelte Genuazyklone III mit beginnender Auflösungstendenz weiter südöstlich nach Sizilien.

Der Witterungsverlauf der letzten 20 Tage vor dem Metric-Camera-Aufnahmezeitpunkt ist in den Figuren 2-21 bis 2-24 dargestellt. Die Meßdaten stammen vom Flughafen Nîmes-Garons ($\rightarrow$ Fig. 2-19).

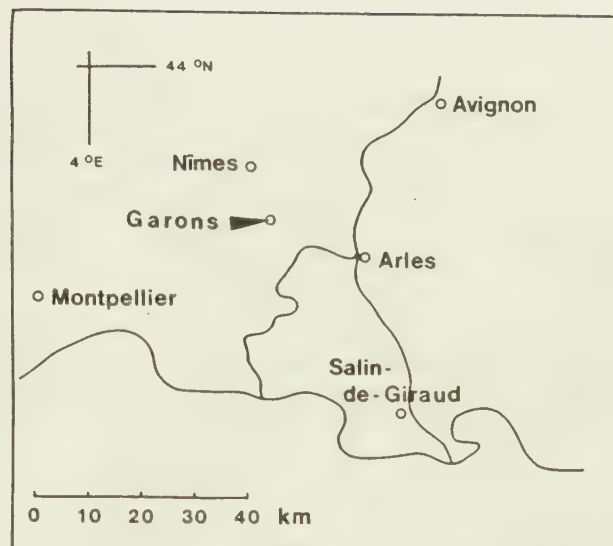


Fig. 2-19: Lage der Klimastation Nîmes-Garons

Nach einer kühleren Periode folgt ab dem 23. November 1983 eine kräftige Erwärmung, so daß die Tageshöchsttemperaturen auf nahezu 20°C steigen ($\rightarrow$ Fig. 2-22). Ab dem 28. November 1983 setzt dann eine Abkühlungsphase ein, in deren Verlauf ab dem 03. Dezember 1983 Nachtfröste auftreten.

Der in Fig. 2-24 wiedergegebene Bewölkungsgrad zeigt zunächst einen sehr wechselhaften Himmel. Aber seit dem Beginn der Abkühlungsphase löst sich die Bewölkung langsam auf. Ab dem 01. Dezember 1983 herrscht wolkenloser Himmel.

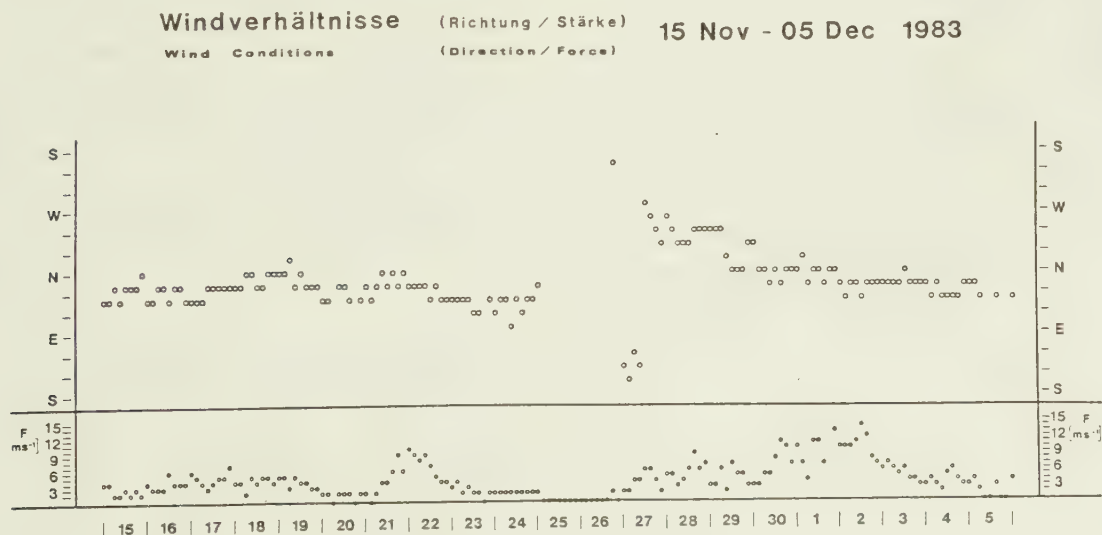
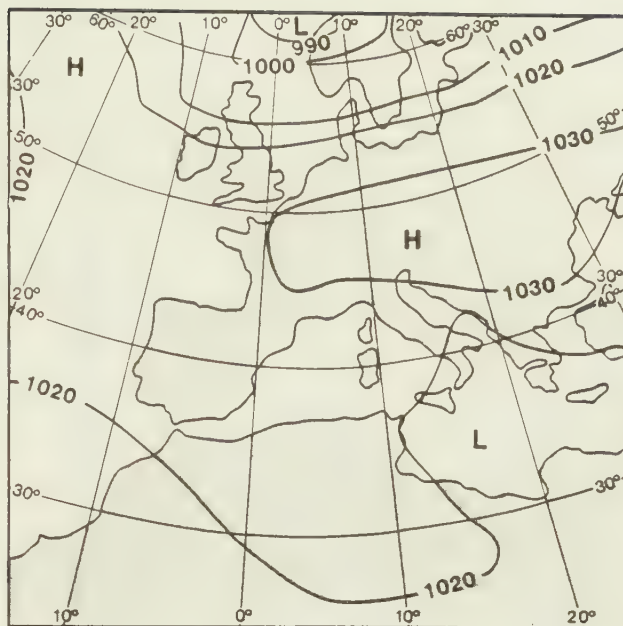


Fig. 2-20: Windverhältnisse an der Station Nîmes-Garons (15. Nov. - 05. Dez. 1983)



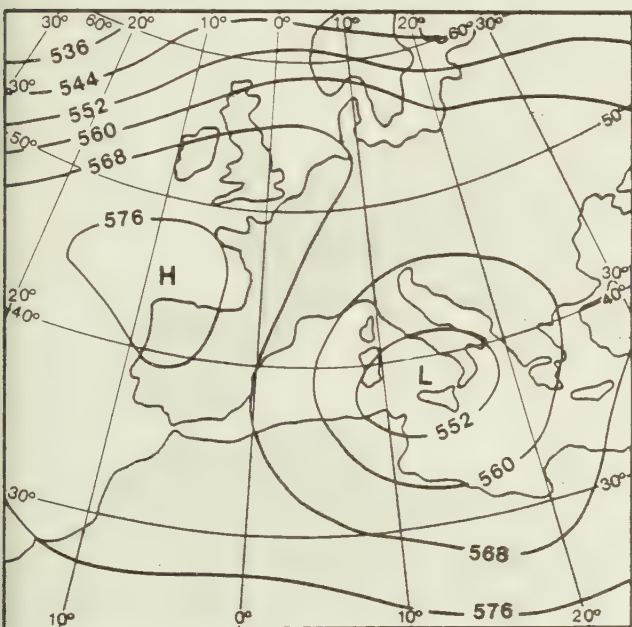
Bodenwetterkarte 04.12.83, 00 GMT

Surface chart 04 Dec 83, 00 GMT



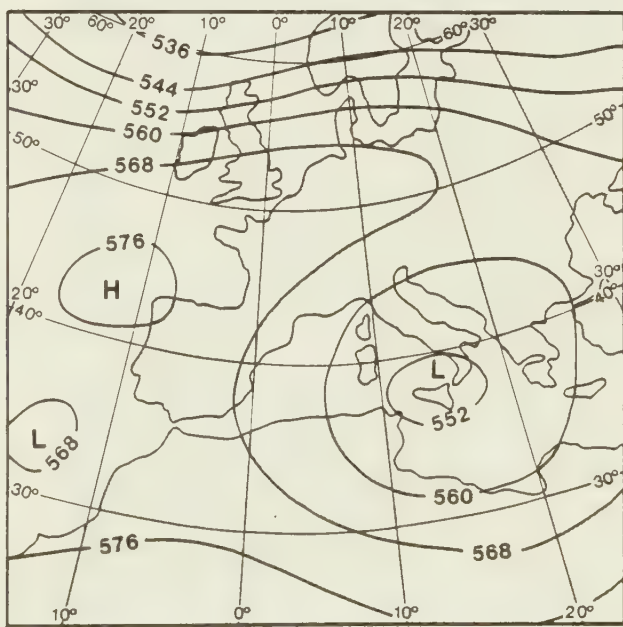
Bodenwetterkarte 05.12.83, 00 GMT

Surface chart 05 Dec 83, 00 GMT



500 - mbar - Fläche 04.12.83, 00 GMT

500 mbar surface 04 Dec 83, 00 GMT



500 - mbar - Fläche 05.12.83, 00 GMT

500 mbar surface 05 Dec 83, 00 GMT

Nach: Europäischer Wetterdienst, Deutscher Wetterdienst, Offenbach

after: European Meteorological Bulletin, Meteorological Service, Offenbach

Entwurf: K. Halm, 1984

Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984

Cartography:

Fig. 2-21: Bodenwetterkarten und Höhenwetterkarten vom 04. und vom 05. Dezember 1983

Witterung

Weather Conditions

15 Nov - 05 Dec 1983

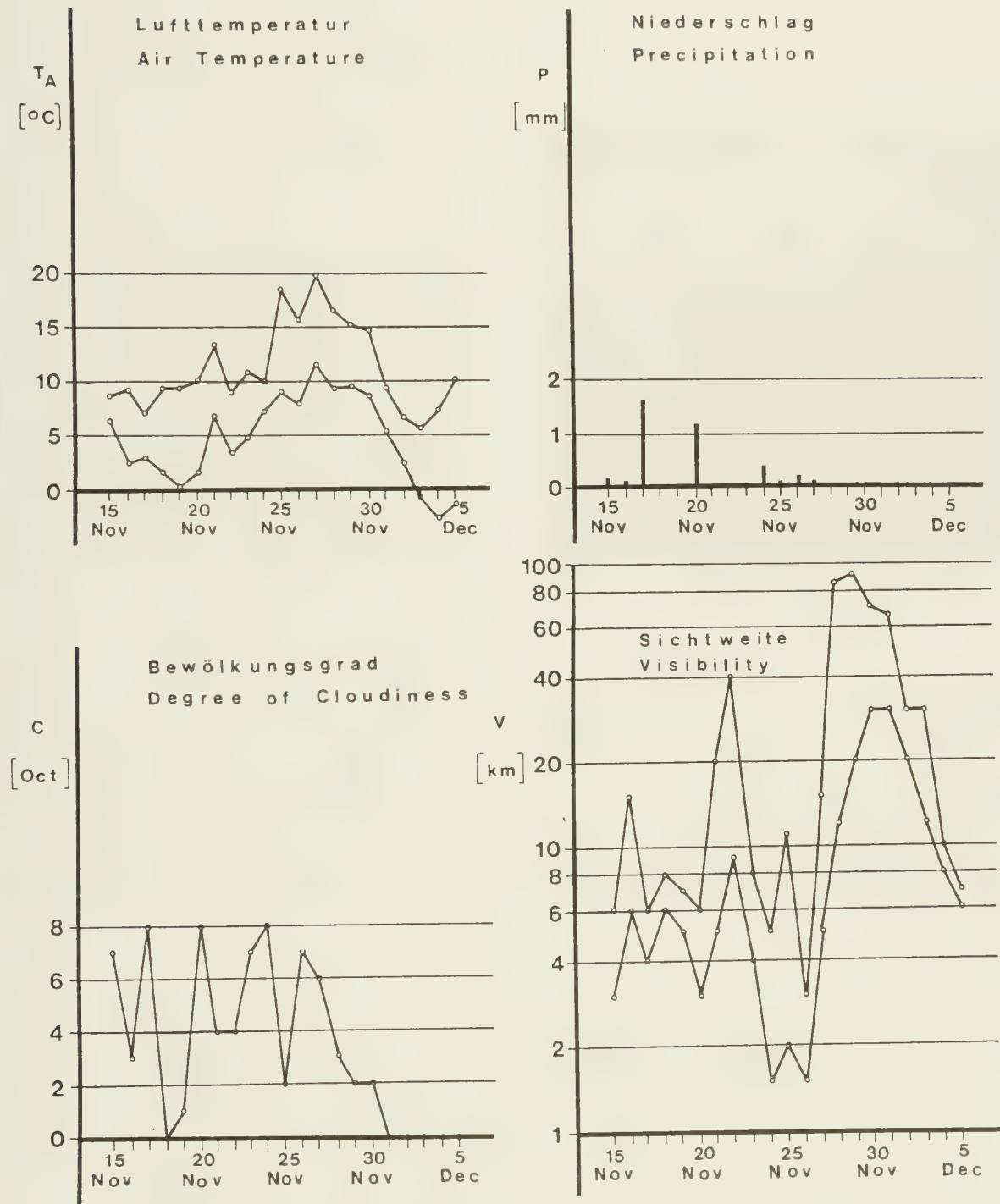


Fig. 2-21 bis 2-24: Witterung in den letzten 20 Tagen vor der Metric-Camera-Aufnahme am 05. Dezember 1983 an der Klimastation Nîmes-Garons

Geringfügige Niederschläge von 1 ... 2 mm sind am 17. und am 20. November 1983 zu verzeichnen (→ Fig. 2-23). Unbedeutende Niederschläge fallen am 24. November bis 27. November 1983. Anschließend ist es niederschlagsfrei.

Da in den letzten 20 Tagen vor der Metric-Camera-Aufnahme insgesamt nur 3.2 mm und in den letzten 8 Tagen gar kein Niederschlag fiel, sind zum Metric-Camera-Aufnahmezeitpunkt am 05. Dezember 1983 keine witterungsbedingten Bodenfeuchtigkeitsunterschiede vorhanden. Das langjährige Niederschlagsmittel liegt für die Klimastation Nîmes-Garons bei 680 mm. Für die genannte Zeit von 20 Tagen (15. November bis 05. Dezember) liegt das langjährige Mittel bei 80 mm.

Es herrschen meist schwache bis mäßige Winde. Allerdings kommt ab dem 27. November 1983 Mistral auf, der sich bis auf Windstärke 7 ausbildet. Anschließend flaut er dann wieder auf eine Windgeschwindigkeit von $3 \dots 6 \text{ m s}^{-1}$ ab (→ Fig. 2-20).

Nach sehr wechselhaften Sichtverhältnissen am Boden (wegen Nebels) verbessert sich die Sicht während der Abkühlungsphase auf 30 ... 90 km (→ Fig. 2-25). Gegen Anfang Dezember 1983 erfolgt dann eine deutliche Abnahme der Bodensichtweiten auf nur 6 ... 7 km am 05. Dezember 1983.

Die terrestrische Aufnahme in Fig. 2-26 wurde am 05. Dezember 1983 um 08-55 GMT, also synchron mit der Metric-Camera-Aufnahme, aufgenommen. Die Aufnahme mit Blickrichtung Nordwesten verdeutlicht die eingeschränkten Bodensichtverhältnisse, was natürlich einen entscheidenden Einfluß auf die Kontraststärke der Metric-Camera-Aufnahme ausübt.

Sowohl für alle biologischen Prozesse als auch für photographische Remote-Sensing-Aufnahmen ist das Energieverteilungsspektrum der

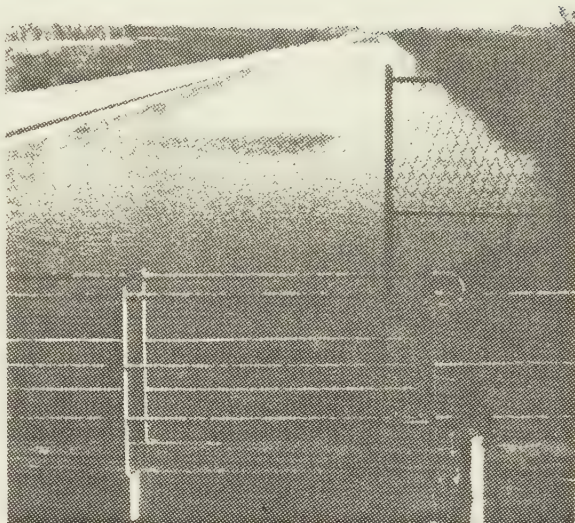


Fig. 2-26: Canal du Bas-Rhône - Languedoc (05. Dez. 83, 08-55 GMT)

Sonne im Verlaufe des Jahres von erheblicher Bedeutung. In Fig. 2-27 ist nach DORNO (1919) die Jahreszeitenkurve der einzelnen Strahlungsanteile wiedergegeben.

Neben den atmosphärischen Rahmenbedingungen ist für die Qualität der MC-Aufnahme ebenso der Aufnahmezeitpunkt von Bedeutung. Bei einem Sonnenstand von 15° und einem Azimut von 144° entstand ein Schatten, der etwa

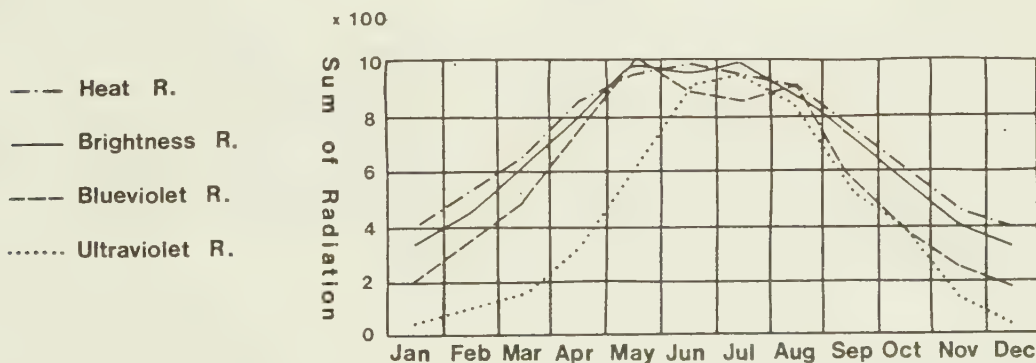


Fig. 2-27: Summen der Strahlung der Sonne (nach DORNO, 1919)



Fig. 2-28: RN 572, 8 km WSW von St. Gilles
(05. Dez. 83, 09-05 GMT)

die 4fache Länge der Höhe des schattenwerfenden Objekts besitzt.

Bei $\tan \alpha (15^\circ) = 0.2679$ gilt:

$$\text{Schattenlänge} = \frac{h \text{ des schattenwerf. Objekts}}{\tan \alpha (\text{sonnenhöhe})}$$

Diese erheblichen Schatten bewirken Informationsverlust und Farbveränderung und damit Tonwertänderungen in der Metric-Camera-Fernerkundungsaufnahme ($\rightarrow$ Fig. 2-28 und 2-29).

Trifft Sonnenstrahlung auf eine Wasserfläche (z. B. in der Lagunenzone), so wird ein Teil dieser auftreffenden Strahlung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel reflektiert und ein anderer Teil absorbiert. Wie aus Fig. 2-30 zu entnehmen ist, werden bei einer Sonnenhöhe von 15° immerhin 79 % der Sonnen-



Fig. 2-29: Landwirtschaftliche Fläche, 5 km SE von Vauvert
(05. Dez. 83, 09-15 GMT)

strahlung absorbiert. Wäre die Sonnenhöhe größer, so würde weitere Strahlungsenergie in die Wasserkörper eindringen, und die Unterschiede zwischen den einzelnen Wasserkörpern würden in photographischen Fernerkundungsaufnahme deutlicher sichtbar werden.

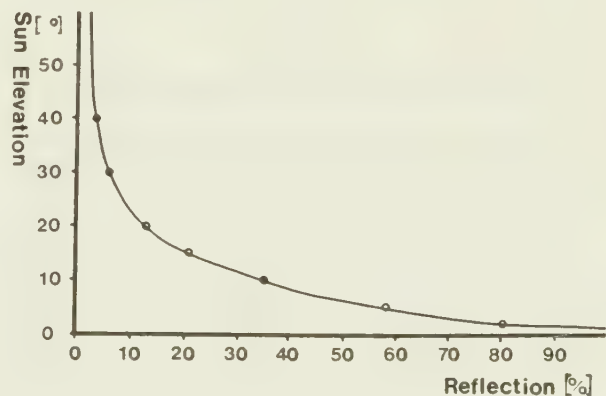


Fig. 2-30: Reflektionsgrad an der Wasseroberfläche in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe

3 FIELDWORK ALS GEGENKONTROLLE ZUR MC - KARTIERUNG

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit besteht darin, quantitative Aussagen über die Kartierungsmöglichkeit von hydrologischen Strukturen aus einer Metric-Camera-Aufnahme zu machen. Um die Richtigkeit der Kartierungen beurteilen zu können, reicht es auf keinen Fall aus, Vergleiche mit bestehenden topographischen Karten anzustellen. Diese sind meistens veraltet, geben aber auf keinen Fall den exakten Geländezustand zum Zeitpunkt der Metric-Camera-Aufnahme wieder. Ein Vergleich zwischen MC-Kartierung und topographischer Karte wird also mit erheblichen Fehlern behaftet sein, zumal auch viele Informationen, die im MC-Bild enthalten sind, nicht in die exakt definierten Legenden von topographischen Karten einzuordnen sind. Die in topographischen Karten enthaltenen Symbole können zwangsläufig nur eine Auswahl an Strukturen der Erdoberfläche wiedergeben.

So ergibt sich als unabdingbare Voraussetzung für eine quantitative Aussage die Datensammlung zum Zeitpunkt der MC-Aufnahme. Dies ist einmal möglich durch eine simultane Flugzeug-Unterfliegung, bei der Luftbilder eines größeren Maßstabs aufgenommen werden. (Die technischen Daten zur erfolgten Unterfliegung des IGN → Kap. 2.3; die Ausschnittsgegenüberstellung MC-Bild - Luftbild → Kap 5.9.)

Die zweite Möglichkeit der Gewinnung von Daten über den Zustand der Erdoberfläche zum Zeitpunkt der MC-Aufnahme ist die simultane Geländeuntersuchung. Sie hat gegenüber dem Luftbild aus der Unterfliegung den erheblichen Vorteil, daß keine Unsicherheiten aufgrund der erforderlichen Luftbildinterpretation auftreten können.

Abmessungen von Objekten können im Gelände genau festgestellt werden, Farbunterschiede von Feldern können im Gelände direkt dem Feldzustand zugeordnet werden (feucht, umgebrochen, Stoppel ...), und hydrologische Messungen können wertvolle Hinweise geben (Sichttiefe, Fließrichtung, Salzgehalt ...).

3.1 Verlauf der Geländearbeiten

Es fanden drei Arbeitsperioden mit insgesamt 28 Gelände-Arbeitstagen statt. Von den beteiligten Personen wurden ~ 1 500 Stunden

im Gelände gearbeitet. Von besonderer Bedeutung ist die zweite Geländearbeitsperiode, da sie zum Zeitpunkt der MC-Aufnahme stattfand.

- I 28.04.-07.05.83:
Prof. Dr. H.G. Gierloff-Emden, K. Halm, P. Kammerer, W. Stolz, R. Westermann, 10 weitere Studenten
- II 03.12.-10.12.83:
K. Halm, W. Stolz, R. Westermann
- III 07.04.-28.04.84:
K. Halm, W. Stolz, R. Westermann, zeitweise Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden und drei weitere Studenten

3.2 Gelände - Arbeitsmethoden

Es wurden folgende Arbeiten in den einzelnen Geländearbeitsperioden durchgeführt:

	I	II	III
Realkartierung der Bodenbedeckung	- km ²	400 km ²	650 km ²
Objekt-Erfassung	100	-	300
Vermessung	2	-	40
Photo-Dokumentation	300	1500	700
Sedimentproben	150	-	-
Wasserproben	100	200	450

Fig. 3-1: Geländearbeiten zur MC-Kartierung "Rhône-Delta"

3.2.1 Realkartierung der Bodenbedeckung

Kartierungsgrundlage war die topographische Karte 1 : 25 000. Es wurde meist entlang aller befahrbaren Straßen und Wege kartiert, und zwar aus einem langsam fahrenden VW-Bus heraus. Mit Hilfe eines Nummerncodes für 22 Klassen von Bodenbedeckung (nackter Boden, Reisfeld, Stoppelfeld, Quellerfläche, Wasseroberfläche ...) wurde gleichzeitig von einer Person rechts des Weges und von der zweiten Person links des Weges kartiert. Der Fahrer als dritte Person bestimmte die Fahrtrichtung. Die Sichtweite lag in diesem offenen Flachrelief mit relativ großen Feldeinheiten bei jeweils ~ 500 m. Bei unübersichtlichen Stellen

wurde vom Dach des Busses per Fernpglas versucht, die fehlende Information zu ergänzen. So ergab sich eine Kartierleistung von ~ 25 km²/h.

Zur Ergänzung wurden weitere Gebiete per Fahrrad oder zu Fuß kartiert. Die hier erzielten Kartierleistungen lagen bei ~ 5 km²/h bzw. 2 km²/h.

Ca. 55 % des gesamten Untersuchungsgebietes, nämlich 650 km², wurden auf diese Weise erfaßt. (Die kartographische Umsetzung → Kap. 4.4.)

3.2.2 Objekt - Erfassung

Während der Kartierungsarbeiten wurden ~ 400 einzelne Objekte erfaßt, von denen anzunehmen war, daß sie im MC-Bild enthalten sein könnten. Es handelte sich dabei z. B. um Hofanlagen, einzeln stehende Bäume, Straßenkreuzungen oder Obstplantagen. Die Erfassung bestand im Ausmessen, Beschreiben und Photographieren.

Diese Detail-Erfassung war später von großem Nutzen für die Kontrolle von MC-Kartierungen (z. B. Größe der erkennbaren Hofanlagen → Kap. 5.9).

3.2.3 Vermessung

Insgesamt 42 Vermessungen wurden durchgeführt. Die Geräte waren Theodolit, Sextant, Bau-Nivellier oder auch Bandmaß und Kompaß. Die Vermessungen reichten von der Baumhöhenbestimmung (→ Kap 5.5) bis zum Höhennivelllement mit gleichzeitiger Vegetationsaufnahme entlang eines 1 km langen Profils (→ Kap. 5.6). Auch die Veränderung der Küstenlinie war nur auf diese Weise zu erfassen (→ Kap. 5.4).

3.2.4 Photo - Dokumentation

Während der Kartierungsarbeiten wurden ~ 2 500 terrestrische Photographien gemacht. Alle Gegebenheiten, von denen man annehmen konnte, daß sie bei der Interpretationsarbeit der Metric-Camera-Bilder relevant sein könnten, wurden aufgenommen (alle auftretenden Arten von Bodenbedeckung, Farben, Schatten, Muster, Texturen, Strukturen ...). Sie dienten später als wichtige Ergänzung zur Realkartierung.

Es wurden dazu drei Kameras benutzt: Eine Kamera mit Weitwinkelobjektiv, eine mit Normalobjektiv und eine Kamera mit Teleobjektiv. Die Diapositiv-Farbfilme waren numeriert. Schriftliche Aufzeichnungen zu jeder Aufnahme enthielten Angaben zu Datum, Uhrzeit, Standort und Blickrichtung zu den abgebildeten Objekten. In der topographischen Karte 1 : 25 000 wurde zusätzlich der Standort mit Photo-Nummer und Blickrichtung eingezeichnet.

Bei der Auswertung der terrestrischen Photographien stellte sich heraus, daß der Blickhorizont bei nur etwa 300 m lag (Flachrelief), bei Aufnahmen vom Busdach bei etwa 400 m. Nach der Formel

tan α = $\frac{\text{halbe Formatdiagonale}}{\text{Brennweite}}$ (Gl. 3.2.1)

mit α = Halber Bildwinkel ergeben sich für die verwendeten Objektive folgende durch eine terrestrische Aufnahme abgebildeten Ausschnitte der Natur:

	Format 24 mm x 36 mm		
Brennweite (mm)	28	50	105
Blickwinkel	75°24'	46°48'	23°16'
Blickweite 300 m	4,35 ha	3,42 ha	1,78 ha
400 m	5,81 ha	4,37 ha	2,37 ha

Fig. 3-2: Durch Kleinbilddias abgebildete Flächen A_p des Testgebietes

Aus der Fig. 3-2 ist ersichtlich, daß zur Flächendeckung der A_r = 650 km² der Realkartierung mindestens 11 200 terrestrische Photographien nötig gewesen wären (A_r : A_p). Mit den 2 500 gemachten terrestrischen Aufnahmen sind ~ 60 km² = 5 % des gesamten Untersuchungsgebietes auf terrestrisch-photographischem Wege abgebildet worden.

3.2.5. Sedimentproben

Entlang dreier eingemessener Profile durch Dünen- und Wattgebiete wurden alle 5...20 m Sedimentproben von 1...2 kg entnommen, und zwar von der Oberfläche (0,5 ... 5 cm Tiefe) und aus 30...35 cm Tiefe. Die Proben wurden dann anschließend im geomorphologischen Labor des Instituts für Geographie der LM-Universität, München bei 105 °C getrocknet und trocken gesiebt. (→ eine Auswertung in Kap. 5.4)

3.2.6 Wasserproben

Wasserproben wurden aus den meisten zugänglichen Fließgewässern und Seen entnommen. Entlang einzelner Gewässer wurden Profile der elektrischen Leitfähigkeit gelegt, um die Grenze Salzwasser / Süßwasser besser fassen zu können. Darüber hinaus konnte meist die Funktion der Fließgewässer bestimmt werden (Bewässerungswasser, Entwässerungswasser, Verbindungsgräben zwischen den Etangs). Alle Daten wurden in selbstentwickelte EDV-gerechte Datenbögen eingetragen.

Die ausgewählten anorganischen Wasserinhaltsstoffe wurden meist direkt im Gelände bestimmt. Einige Kontrollmessungen erfolgten später bei konservierten Proben im Labor (1 ml Chloroform auf 250 ml Probenwasser).

Zur Analyse der chemischen Parameter dienten im Gelände die quantitativen und halbquantitativen Methoden der Schnelltests Aquamerck® und Merckoquant® der Firma Merck AG, Darmstadt und der Testkits der Firma Hoelzle & Chelius KG, Neu-Isenburg.

Erdalkalien (Magnesium / Calcium):

Komplexometrische Titration, bei der die im Wasser vorliegenden Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen mit Titriplex® III (Ethylen-dinitrilo-tetraessigsäure-Dinatriumsalz) eine Komplexverbindung eingehen. Farbänderungen eines Indikators von rot nach grün.

Abstufung der Meßwerte: je 1 °d (Grad Deutscher Härte)

Umrechnung: 1 °d = 0.18 mmol Erdalkalien/l =
= 0.36 mval Erdalkali-Ionen/l

Eisen ($\text{Fe}^{2+/3+}$):

Teststäbchen zur halbquantitativen Bestimmung

Abstufung der Meßwerte:

0-3-10-25-50-100-250-500 mg Fe/l

Ammonium (NH_4^+):

Kolorimetrische Bestimmung mit Neßler's Reagenz: Ammonium-Ionen bilden mit Neßler's Reagenz eine charakteristische Gelb- bis Braunfärbung, die in Abhängigkeit von der Menge an Ammoniak unterschiedlich stark ist. Durch gleichzeitige Zugabe von Kalium-Natriumtartrat werden Härtebildner in Lösung gehalten.

Abstufung der Meßwerte:

0-0.5-1-3-5-10 mg NH_4^+ /l

Nitrit (NO_2^-):

Kolorimetrische Bestimmung mit Sulfanilsäure durch Diazotierung mit N-(Naphthyl(1))-äthylen-diammoniumchlorid. Der gebildete Azofarbstoff ergibt eine rotviolette Färbung.

Abstufung der Meßwerte:

0-0.025-0.05-0.1-0.25-0.5-1-2-5-10-20 mg NO_2^- /l

Nitrat (NO_3^-):

Teststäbchen zur halbquantitativen Bestimmung; Nitrat wird durch Reduktionsmittel zu Nitrit reduziert. In Gegenwart eines sauren Puffers entsteht salpetrige Säure, die ein aromatisches Amin diazotiert. Durch Kupplung mit N-(Naphthyl(1))-äthylen-diammoniumchlorid entsteht ein rotvioletter Azofarbstoff.

Abstufung der Meßwerte:

0-10-30-100-250-500 mg NO_3^- /l

Phosphat (PO_4^{3-}):

Kolorimetrische Bestimmung mit Ammoniumheptamolydat. In saurer Lösung entsteht nach Zusatz von Ammoniumheptamolydat eine Isopoly-säure, die mit Orthophosphat eine Heteropoly-säure bildet. Die gelb gefärbte Lösung wird durch Reduktion in eine blau gefärbte Lösung überführt und kolorimetriert.

Abstufung der Meßwerte:

1-2.5-5-7.5-10 mg P_2O_5 /l

Umrechnung: 1 mg P_2O_5 /l = 1.34 mg PO_4^{3-} /l

Sulfat (SO_4^{2-}):

Das im Probenwasser vorhandene Sulfat bildet mit Bariumchlorid fein verteiltes Bariumsulfat. Die dadurch entstehende Trübung wird gemessen.

Abstufung der Meßwerte:

je 5 mg SO_4^{2-} /l

Chlorid (Cl^-):

Quecksilber-II-nitrat bildet in salpetersaurer Lösung mit Cl^- -Ionen undissoziiertes Quecksilber-II-chlorid. Am Titrationsendpunkt reagiert überschüssiges Quecksilber-II-nitrat mit anwesendem Diphenylcarbazon zu einer intensiv violett gefärbten Komplexverbindung.

Abstufung der Meßwerte:

je 5 mg Cl /l

Gelöster Sauerstoff (O_2):

Das Sauerstoff-Testkit basiert wahrscheinlich auf der Methode nach WINKLER.

Abstufung der Meßwerte: je 0.25 mg O_2 /l

Methylenblau-Test (Fäulnisfähigkeits-Test):

In 100 ml-Sauerstoffflaschen wird langsam das Probenwasser eingefüllt; mit einer Feinpipette oder Einweg-Spritze wird 1 ml 0.03 %ige Methylenblau-Lösung zugegeben; das Gefäß wird blasenfrei und luftdicht verschlossen und im Dunklen aufbewahrt. Die ersten Stunden wird laufend kontrolliert, ob sich die Lösung entfärbt hat, später nur noch alle 6... 8 Stunden.

Die Meßdaten sollen in Kombination mit anderen Daten Aufschluß darüber geben, ob biochemisch-biologische Prozesse in dem Wasser in erhöhtem Maße ablaufen. Dies wäre ein Anzeiger von Weidenutzung am entsprechenden Gewässer.

Darüber hinaus wurden einige physikalische Gewässer-Parameter erfaßt:

Wasserstoffionen-Konzentration (pH):

Elektrometrisch mit tragbarem batteriebetriebenen Meßgerät sowie mit nicht-blutenden Spezial-Indikatorstäbchen der Firma Merck AG, Darmstadt.

Meßbereiche:

pH 4.0 - pH 7.0 (je 0.3) und
pH 6.0 - pH 10.0 (je 0.3)

Elektrische Leitfähigkeit (eC_{20}):

Elektrometrisch mit tragbarem batteriebetriebenen Meßgerät (Entwicklung des Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam). Die Temperatur-Korrektur auf 20 °C ist integriert.

Umrechnung:

1 μS = 0.65 mg Salzgehalt /kg Wasser

Gewässerbreite und -tiefe (b, d)

Abflußmenge (Q):

Bestimmt aus hydrometrischen Daten und der Fließgeschwindigkeit (Peilstab)

Farbe:

Subjektive Farbeinschätzung der in einen 40 cm hohen Standzylinder gefüllten Wasserprobe

Sichttiefe (T):

Weißer Secchi-Scheibe an markierter PVC-Kette

Geruch:

Subjektive Einschätzung nach den vorgeschlagenen Kategorien der Deutschen Einheitsverfahren zur Wasseranalyse

4 RHÔNE - DELTA (ALLGEMEINES)

4.1 Abgrenzung des Testgebietes

In Fig. 4-1 ist das Gebiet markiert, das im Rahmen meiner Untersuchungen zur Verwendbarkeit von Metric-Camera-Aufnahmen als Testgebiet diente.

Es umfaßt als zentralen Teil die Plaine de la Camargue, die westlich von der Petit Rhône und östlich von der Grand Rhône begrenzt wird. Ein Großteil dieses Gebietes steht als Parc Régional unter Naturschutz.

Zum Arbeitsgebiet gehören auch die Gebiete nordwestlich der Petit Rhône mit dem Etang de Scamandre bis zum Canal du Bas-Rhône - Languedoc, der etwa entlang der Grenze des eigentlichen Rhône-Deltas zu seiner höheren pleistozänen Umrahmung verläuft.

Somit ist der Raum von St. Gilles ebenso in mein Untersuchungsgebiet eingeschlossen wie ein kleineres Areal zwischen der Petit Rhône und dem nördlich davon verlaufenden Canal du Bas-Rhône - Languedoc. Große Teile der Stadt Arles dienten ebenfalls als Testgebiet.

Die Begrenzung des Testgebietes verläuft nun in etwa entlang des Canal de Marseille au Rhône (= Canal d'Arles à Port-de-Bouc) südostwärts bis zum Erreichen des Golfe de Fos. Teilbereiche der Industriezone der Region um Fos-sur-Mer sind für einige Fragestellungen mitbearbeitet worden.

Die südliche Abgrenzung meines Testgebietes ist die Küstenlinie vom Golfe de Fos über die Mündung der Grand Rhône, westwärts entlang der Strände von Piémançon und Faraman, um die Pointe du Sablon entlang des Golfe de Beauduc bis zur Mündung der Petit Rhône bei Stes. Maries-de-la-Mer.

Das bearbeitete Gebiet hat eine Fläche von 1 162.525 km², also etwa 70 % des gesamten Rhône-Deltas, das westlich meines Testgebietes bis in den Raum von Aigues-Mortes - le Grau-du-Roi - la Grande-Motte reicht.

4.2 Geologie

Die geologische Karte (→ Fig. 4-2) wurde eigens für die vorliegende Untersuchung entwickelt. In den französischen geologischen Karten 1 : 50 000 sind 67 Legenden-Einheiten für diesen Raum enthalten. Ein Großteil davon betrifft den tieferen Untergrund, der für die

vorliegende Arbeit nicht von so hoher Bedeutung ist. So habe ich die Legende auf 16 Einheiten reduziert, indem ich nur noch die geologischen Gegebenheiten an der Geländeoberfläche angebe. Die Genauigkeit betreffend den Informationsgehalt ist durch diese Maßnahme für diese Untersuchung nicht verändert.

Da für den Bereich von le Grau-du-Roi im Westen des Rhône-Deltas keine geologische Karte vorliegt, wurden die Ergänzungen mit Hilfe der topographischen Karte 1 : 25 000 und den Ortskenntnissen vorgenommen.

Die geologische Karte wurde im Maßstab 1 : 50 000 hergestellt und wird aus drucktechnischen Gründen im Maßstab 1 : 180 000 wiedergegeben. Sie zeigt das Rhône-Delta in vier Zonen:

- die Strandzone in gelben Farben,
- die Lagunenzone in blauen Farben,
- die fluviatile Zone in rötlichen Farben und
- die Sumpfbzone in grünen Farben.

Der tiefere Untergrund des Rhône-Deltas besteht aus Tonen und Sanden der Kreide, die einem erodierten Sockel des Mesozoikums aufliegen. Das Hangende wird von tonigen und mergeligen Schichten der verschiedenen Transgressionen des Tertiärs gebildet. Das Quartär beginnt mit Schotterakkumulationen der Rhône. Die Mächtigkeit nimmt von Nordosten nach Südwesten von 30 m (Tête de la Camargue) auf 60 m bei Stes. Maries-de-la-Mer zu.

In historischer Zeit hat die Rhône mehrfach ihren Lauf geändert. Es kam zur Ausbildung einer schwach reliefsierten Becken- und Schwellenlandschaft (0... 5 m über dem Meeresspiegel). Die Becken werden von Sümpfen eingenommen (Sumpfbzone), während die Schwellen alte Flußuferdämme mit von innen nach außen feiner werdendem Material bilden (fluviatile Zone). In der Strandzone kommt es zu Sedimentumlagerungen aufgrund von Wind, Wellen und Strömung. Beträchtliche Umlagerungen führen zu Strandwällen, die oft in mehreren Staffeln hintereinander angeordnet sind.

Der Südteil des Deltas weist zahlreiche flache Seen (étangs) auf (Lagunenzone). Sie stehen untereinander und mit dem Meer durch seichte Durchlässe in Verbindung.

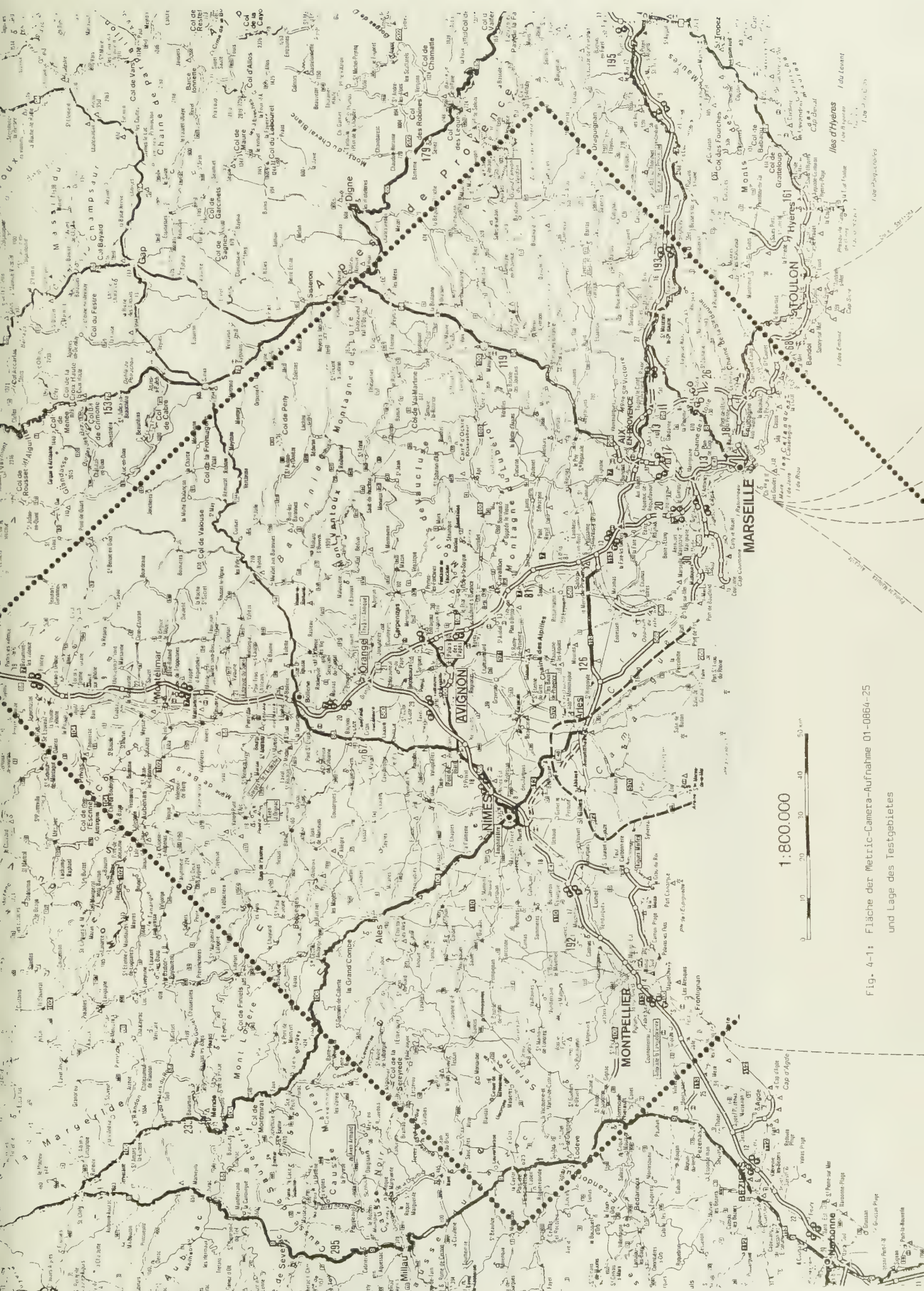


Fig. 4-1: Fläche der Metric-Camera-Aufnahme 01-0864-25
und Lage des Testgebietes



Fig. 4-2: Geologie des Rhône-Oeltas (entwickelt aus geologischen Karten 1 : 50 000)
($m = 1 : 200\ 000$)

4.3 Bodenbedeckung nach Realkartierung

Während der drei Geländearbeitsperioden wurden umfangreiche Kartierungen der Bodenbedeckung vorgenommen (→ Kap.3.2.1). Dabei wurde auf topographischen Karten 1 : 25 000 nach einem Nummernschlüssel kartiert. Der Schlüssel, nach dem die wurde, hatte 22 Einheiten:

- 1 Wasserfläche
- 2 Wasserbecken, zur Zeit trocken
- 3 Wiese, Weide
- 4 Wein, nicht geflutet
- 5 Wein, geflutet
- 6 Wein mit Grasuntersaat
- 7 Spargel
- 8 Spargel, gemäht
- 9 Spargel mit Zwischenfrucht
- 10 Ödland
- 11 Queller
- 12 Nackter Boden, Sand
- 13 Schilf
- 14 Reis, nicht geflutet
- 15 Reis, geflutet
- 16 Nackter Acker
- 17 Hirse
- 18 Wald, Buschwerk
- 19 Wintergetreide
- 20 aufgeschossenes Getreide
- 21 Brache
- 22 Obstplantage

Fig. 4-3: Kartierungsklassen der Bodenbedeckung

Bei der Bearbeitung der Daten habe ich einige Klassen zusammengefaßt, so daß die 14 in Fig. 4-5 wiedergegebenen Klassen entstanden.

Diese Karte entstand nach Abschluß der drei Geländearbeitsperioden unter dem Gesichtspunkt, daß die Bodenbedeckung in dem Zustand vom Zeitpunkt der Metric-Camera-Aufnahme (05. Dezember 1983) dokumentiert werden sollte.

Die Kartierungsergebnisse vom April 1984 wurden daher nur teilweise und unter größter Sorgfalt in die der Kartierung von Dezember 1983 integriert.

Die Klassen wurden zusammengefaßt und neu geordnet. Als Ordnungsprinzip galten

- das optische Erscheinungsbild der einzelnen Klasse von Bodenbedeckung und
- ihre thematische Zusammengehörigkeit.

Dabei sind Klassen mit

- gelben Farbanteil: landwirtschaftliche Nutzflächen,
- rotem Farbanteil: nackte Böden, Salzsteppe, ...
- blauem Farbanteil: Wasserflächen,
- grünem Farbanteil: holzige Pflanzen wie Wein, Obst ...

In Fig. 4-4 wird dieses Ordnungsschema veranschaulicht.

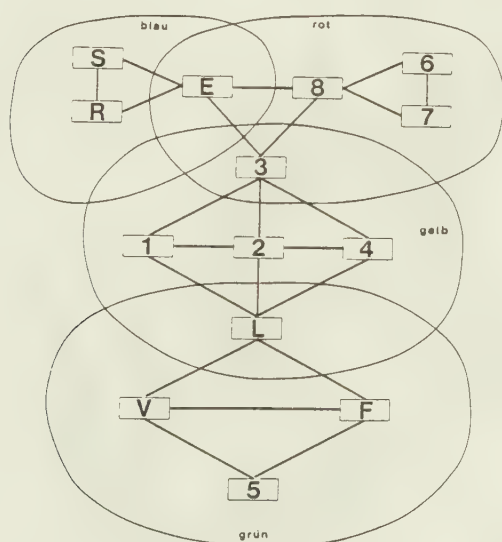


Fig. 4-4: Anordnung der Bodenbedeckungsklassen nach der Realkartierung



Fig. 4-5: Realkartierung der Bodenbedeckung nach den Geländeaufnahmen Dezember 83 und April 84
($m = 1 : 200\ 000$)

5 KARTIERUNGEN AUS DEM MC - BILD

5.1 Arbeitsmethode

Die Kartierung von hydrologischen Strukturen aus der Metric-Camera-Aufnahme des Rhône-Deltas erfolgte in sieben Schritten:

1. Der erste Arbeitsschritt bestand im visuellen Kartieren aller im MC-Bild erkennbaren linearen Elemente. Als Grundlage dienten kontrast-ausgeglichene Papiervergrößerungen im Maßstab 1 : 50 000. Deutlich erkennbare lineare Elemente werden in Fig. 5-1 mit durchgezogener Linie dargestellt, schwach erkennbare mit punktierter Linie.
2. Als nächster Schritt wurde der Versuch unternommen, diese linearen Elemente den Inhalten der topographischen Karten im Maßstab 1 : 50 000 zuzuordnen. Als Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist festzuhalten, daß eine Vielzahl der kartierten linearen Signale Informationen der topographischen Karten zuordnenbar sind. Wie leicht aus Fig. 5-1 zu entnehmen ist, übertrifft aber die Kartierung der linearen Elemente bei Weitem die in einer topographischen Karte 1 : 50 000 enthaltenen Informationen. Die MC-Kartierung enthält also zusätzliche Signale, die teilweise leicht aufgrund ihres Verlaufs zu deuten sind, meist aber entweder mehrdeutig oder auch völlig unzuordnenbar sind. Dies liegt insbesondere natürlich an der Tatsache, daß in einer Karte nur die in einer vorgegebenen Legende eindeutig einzubringenden Signale enthalten sind.
3. Anschließend erfolgte eine Kartierung von visuell unterscheidbaren Grautonflächen. Als Grundlage dienten sowohl Papierabzüge als auch Transparente in unterschiedlichen Kontraststufen und unterschiedlichen Maßstäben. Die Kartierung erfolgte im Maßstab 1 : 50 000.
4. Die auskartierten Grautonflächen wurden mit der Realkartierung der Bodenbedeckung verglichen. Hierbei ist deutlich erkennbar, daß das MC-Bild oftmals Hinweise auf Zonierungen gibt, wie sie weder aus der topographischen Karte noch aus der Karte der Realkartierung zu entnehmen sind. Insbesondere gegenüber dem Blickfeld bei der Geländebegehung für die Realkartierung ist das MC-Bild bei weitem Überlegen.
5. Nun erfolgte die visuelle Kartierung der hydrologischen Strukturen. Dabei wurden alle zur Verfügung stehenden photographischen Produkte verwendet. Es dienten als Arbeitsgrundlage sowohl MC-Transparente als auch Papierabzüge, sowohl in kleinen als auch in größeren Maßstäben und in unterschiedlichen Kontraststärken. Diese Kartierungen erfolgten ohne Zuhilfenahme von Kartenmaterial, allerdings ist natürlich eine grobe Kenntnis der Geländeverhältnisse in großen Teilen des Untersuchungsgebietes vorhanden. Als Ergebnis ist aber anzusehen, daß bei guter Einarbeitung in das MC-Material und bei genereller Kenntnis der im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Gegebenheiten und einzelnen sogenannter "Eichkartierungen" durchaus auch aus Bildern unbekannter Gebiete kartiert werden kann.
6. Die Ergebnisse des sich anschließenden Vergleichs dieser kartographischen Darstellung mit Informationen der topographischen Karten, der Luftbilder und der Daten der Geländearbeiten sind ausführlich in den nachfolgenden Kapiteln 5.2 bis 5.9 dargestellt.
7. Als letzter Arbeitsschritt wurde der Versuch unternommen, aus den Teilen der Kartierungen eine hydrologische Karte des Rhône-Deltas im Maßstab 1 : 50 000 herzustellen (→ Kap.7).



Fig. 5-1: Lineare Elemente nach Metric-Camera-Aufnahme 01-0864-25 (m = 1 : 160 000)

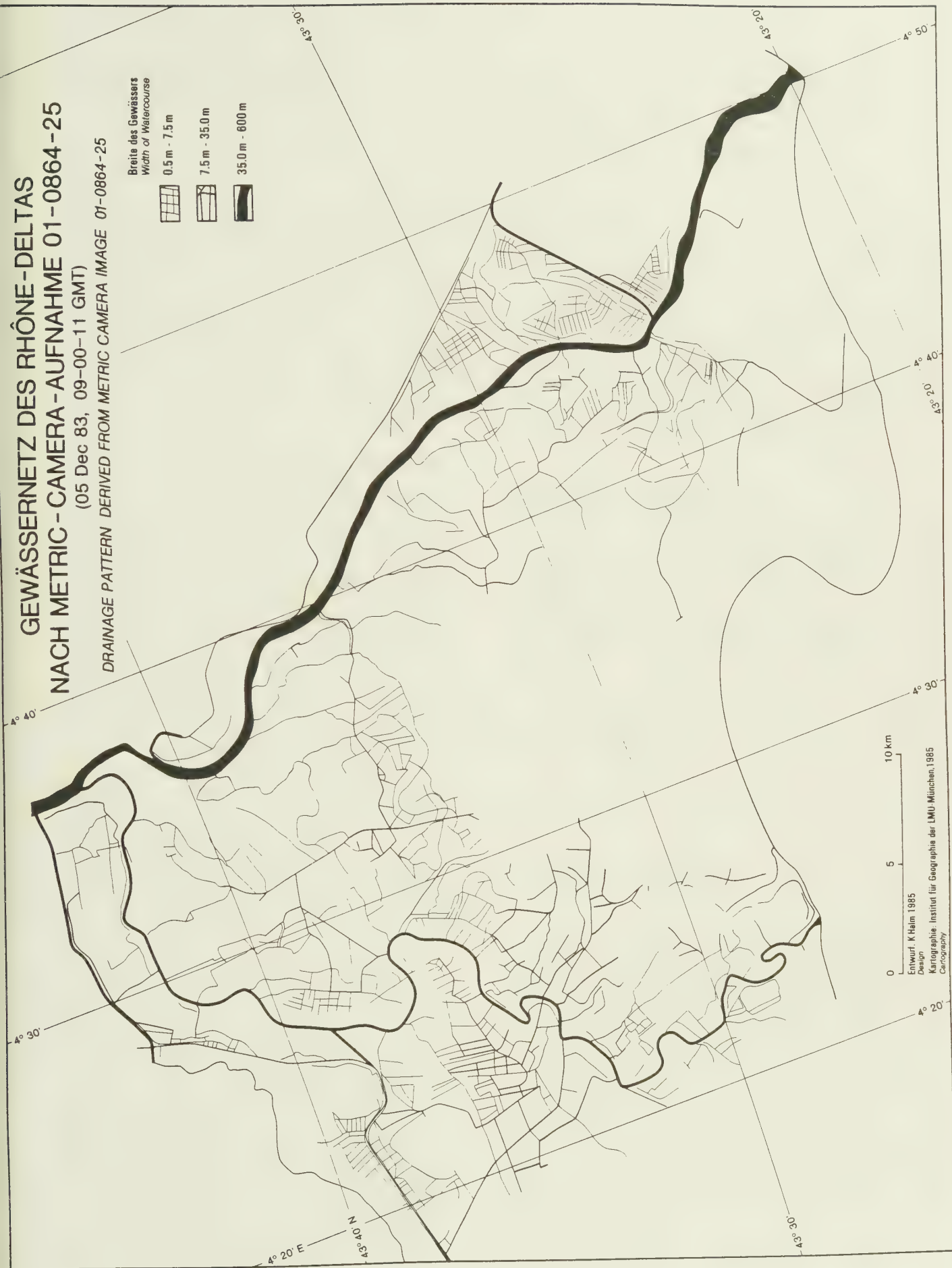


Fig. 5-2: Gewässernetz des Rhône-Deltas nach Metric-Camera-Aufnahme 01-0864-25
 (m = 1 : 160 000)

5.2 Identifizierbarkeit des Gewässernetzes

5.2.1 Kartierungstest

Entsprechend meiner Ausführungen zum wasserwirtschaftlichen Regionalplan in Kap. 1.2.6 soll als erstes versucht werden, das Netz der Fließgewässer aus einem Metric-Camera-Bild zu kartieren. Im Gegensatz zu den meist flächenhaften stehenden Gewässern handelt es sich hier um linienhafte hydrologische Strukturen.

Es sei noch einmal daran erinnert, daß das MC-Bild des Rhône-Deltas nur als Testobjekt dient. Dessen nördlicher Teil wurde als Testgebiet ausgewählt und im Folgenden dargestellt.

Als Arbeitsgrundlage zu den Kartierungsarbeiten diente eine kontrast-ausgewogene Transparentvergrößerung im Maßstab 1 : 100 000, die mit einem extrem kontraststarken Transparent exakt gleicher Vergrößerungsstufe überlagert wurde. Durch diese Art photographischer scharfer Maske wurde eine Arbeitsgrundlage geschaffen, die linienhafte Elemente stark betont, aber dennoch flächenhafte Strukturen und Texturen enthält. Der bei der analogen Bildverarbeitung erzielte Effekt entspricht dem Prozeß der Kantenverstärkung bei der digitalen Bildverarbeitung.

Auf dieser Grundlage wurde ohne Zuhilfenahme von Kartenunterlagen rein visuell kartiert. Aus Verlauf, Lage und Grauton wurde versucht, alle erkennbaren Gewässer im gewählten Ausschnitt zu erfassen.

Anschließend wurde mit den in der topographischen Karte 1 : 100 000 dargestellten Gewässern verglichen. In Zweifelsfällen wurde auch die topographische Karte 1 : 25 000 zur Hilfe genommen.

Das in Fig. 5-3 dargestellte Ergebnis zeigt, daß von den insgesamt 225 km in der Karte dargestellten Wasserläufen nur 129 km richtig identifiziert wurden. Nicht identifiziert, das heißt bei der MC-Kartierung nicht erfaßt, wurden demgegenüber 96 km Wasserläufe, die in der Karte 1 : 100 000 enthalten sind. Dies liegt meist am fehlenden Kontrast gegenüber der Umgebung. Ein dunkles Gewässer hebt sich in dunkler Umgebung (z. B. Quellfläche) ebensowenig ab wie ein helles Gewässer in heller Umgebung (z. B. Salzsteppe).

Die dritte in der Fig. 5-3 wiedergegebene Klasse sind vermeintliche Wasserläufe, d. h. es wurden Wasserläufe vermutet und deshalb

kartiert, was sich aber beim Vergleich mit den Karten als falsch herausstellte. Es handelte sich bei diesen 44 Kilometern vielmehr um Straßen, Wege oder Feldgrenzen.

5.2.2 Ergebnis

- Wasserläufe mit einer Breite $b \geq 35$ m können fehlerfrei aus dem MC-Bild kartiert werden.
- Wasserläufe mit $b < 35$ m können nicht eindeutig von Straßen oder Feldgrenzen unterschieden werden (~ 50 % Fehler).
- Die Erkennbarkeit korreliert nur mit dem Kontrast des Gewässers zu seiner Umgebung und ist unabhängig von Sonnenhöhe und Azimut.

Gewässernetz des Rhône-Deltas:

Die in Fig. 5-2 aus drucktechnischen Gründen auf $m = 1 : 160\,000$ verkleinert dargestellte Karte des Gewässernetzes hat den Originalmaßstab 1 : 50 000.

Diese Karte enthält alle Gewässer der topographischen Karte 1 : 100 000 in den Breitenklassen:

- | | |
|-----|---|
| I | 142.7 km Wasserläufe mit $b \geq 35$ m |
| II | 260.7 km Wasserläufe mit $b = 7.5 \dots 35$ m |
| III | 862.0 km Wasserläufe mit $b < 7.5$ m |

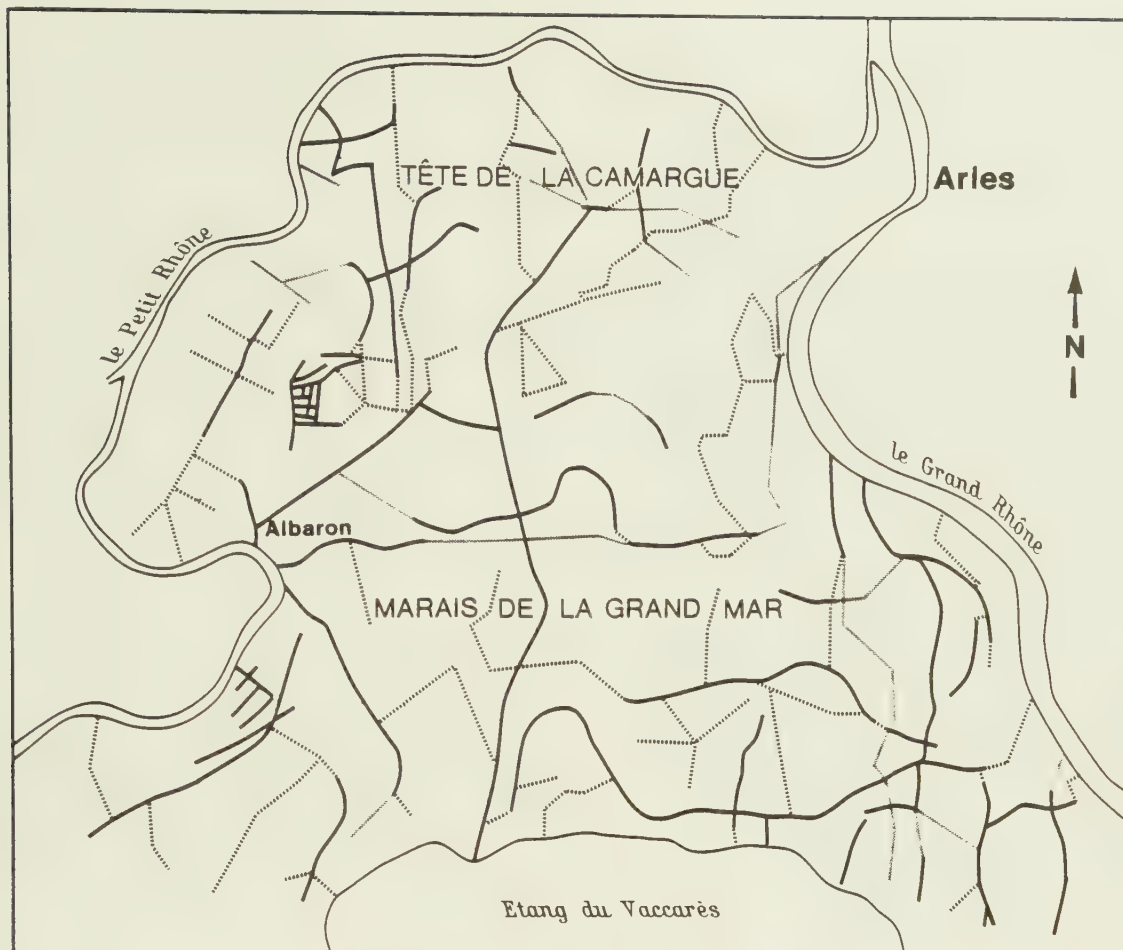
Davon wurden bei der MC-Kartierung richtig identifiziert:

- | | |
|-------|-----------------------|
| 100 % | der Breitenklasse I |
| 50 % | der Breitenklasse II |
| 20 % | der Breitenklasse III |

Das bedeutet, daß aus dem MC-Bild insgesamt 445.5 km Wasserläufe richtig extrahiert werden konnten, obwohl in den topographischen Karten 1 : 100 000 insgesamt 1 265.4 km Wasserläufe im Rhône-Delta dargestellt sind. Das entspricht einem Anteil von 35.2 %.

In der Karte 1 : 250 000 des Institut Géographique National (IGN) sind die Gewässer der Breitenklasse I sowie 178.3 km Wasserläufe der Breitenklasse II abgebildet. Diese zusammen 321 km Wasserläufe sind fast vollständig aus dem MC-Bild extrahierbar (89.1 %). Somit kann die Grundstruktur des Gewässernetzes gut erfaßt werden.

Da in der Karte 1 : 1 Mio des IGN nur die Gewässer der Breitenklasse I enthalten sind,



Maßstab 1 : 150 000
Scale

Metric - Camera - Aufnahme 0864 - 25, 05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

— Wasserlauf richtig identifiziert
Water Channel Correctly Identified

Carte Topographique 66 (1 : 100 000)

..... Wasserlauf nicht identifiziert
Water Channel not Identified

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

— Wasserlauf falsch identifiziert
Water Channel Falsely Identified

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-3: Identifizierbarkeit des Gewässernetzes aus der Metric-Camera-Aufnahme 01-0864-25

kann aus dem MC-Bild das gesamte Gewässernetz des Testgebietes "Rhône-Delta" (142.7 km) für diesen Maßstab extrahiert werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die MC-Kartierung des außerordentlich komplexen Gewässernetzes in einem Flachrelief ohne Reliefunterschiede für die Anforderungen der Planungsstufen

- Project Finding meist völlig hinreichend,
 - Feasibility-Studie bei großen Arealen bzw. bei Arealen mit Kartierungshilfen durch Reliefunterschiede zufriedenstellend und
 - Monitoring ebenfalls zufriedenstellend
- ist (→ Planungsmaßstäbe Fig. 1-1). (Vgl. auch JACKSON, SALOMONSON and SCHMUGGE, 1980).

5.3 Lagunenklassifikation

5.3.1 Kartierungstests

5.3.1.1 Kartierungstest I

Am Beispiel des Etang de Galabert und seiner Umgebung soll die Möglichkeit getestet werden, die Lagunenzone qualitativ zu klassifizieren (→ Fig. 5-6).

Als Arbeitsmaterial wurden folgende MC-Vergrößerungen im Maßstab 1 : 50 000 benutzt:

- kontrast-ausgeglichene Papierabzüge zur Erkennung von Texturen und Grautonunterschieden (Die Grautöne aus Fig. 5-6 können nicht mit denen aus Fig. 2-16 verglichen werden !)
- dunkle kontrastreiche Papierabzüge zur Erkennung von linearen Elementen.

Zunächst wurden die Flächen unterschiedlicher Grautonstufen visuell gegeneinander abgegrenzt. Anschließend wurden die Flächen der fünf unterscheidbaren Grautonstufen markiert.

Densitometermessungen ergaben, daß sich innerhalb der Flächen die Meßwerte mit einer mehr oder weniger geringen Spannweite um einen mittleren Wert gruppieren, das bedeutet, daß die abgegrenzten Grautonflächen in sich homogen sind.

Die beiden hellsten und die beiden dunkelsten Klassen unterscheiden sich weniger durch ihre Helligkeit als vielmehr durch die Größe der Varianz der Meßwerte innerhalb der Flächen. Daraus wird abgeleitet, daß es sich bei den inhomogeneren Flächen um Geländeoberflächen handeln muß, die ebenfalls eine inhomogene Helligkeitsverteilung aufweisen.

Zur Klärung dieses Problems waren die Ergebnisse der Realkartierung sowie die terrestrischen Photographien, die simultan zum MC-Aufnahmezeitpunkt aufgenommen wurden, von besonderer Bedeutung. So konnte anhand dieser "Eich-Kartierungen" von 74 km² (= 28 % der gesamten Lagunenzone im Untersuchungsgebiet) eine eindeutige Zuordnung der fünf auskartierten Klassen zu unterschiedlichen Geländeoberflächen erfolgen.

So ist es möglich, zwischen feuchtem Schlicksand und Wasser mit geringer Schweb-



Fig. 5-4: Feuchter Schlicksand des Etang d'Amphise (06 Dec 83, 13-45 GMT)

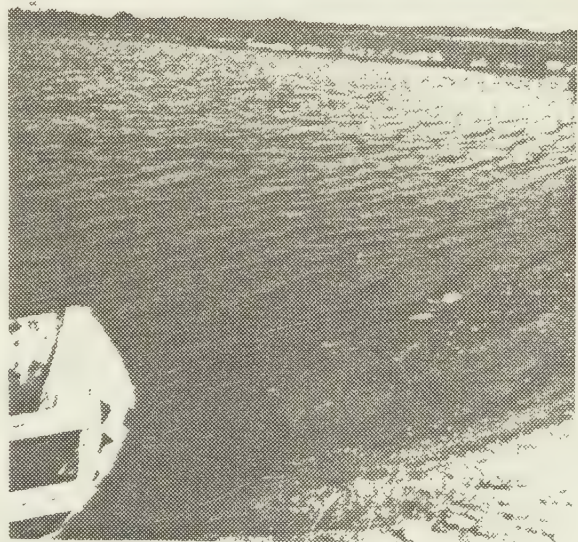
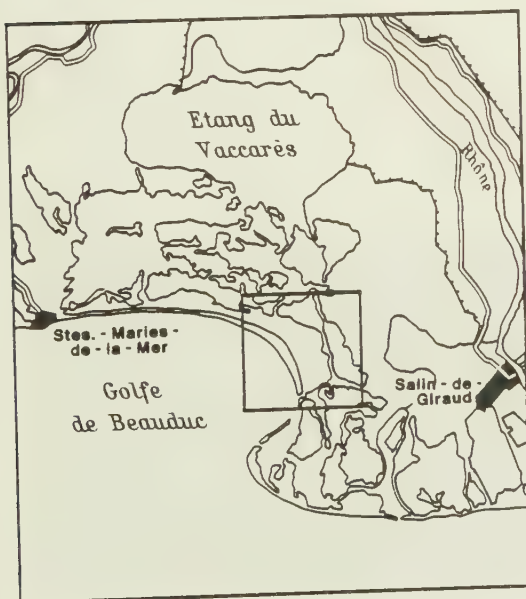
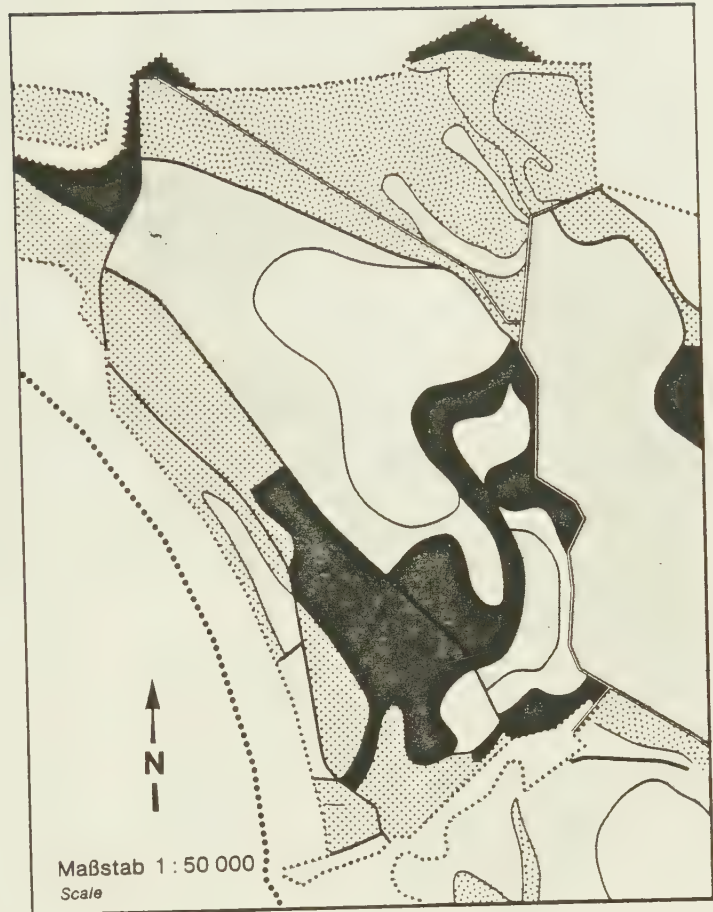


Fig. 5-5: Wasser mit geringer Schwebstofffracht des Etang du Vaccarès (06 Dec 83, 12-45 GMT)

-  Trockener Schlicksand
Dry Silty Sand
-  Feuchter Schlicksand
Moist Silty Sand
-  Wasser mit starker Schwebstofffracht
Water with High Suspended Load
-  Wasser mit mittlerer Schwebstofffracht
Water with Medium Suspended Load
-  Wasser mit geringer Schwebstofffracht
Water with Low Suspended Load
-  Küstenlinie
Coastal Line
-  Begrenzung der Lagunenzone
Boundary of Lagoon Zone
-  Breiter Damm
Wide Bank
-  Kleiner Damm
Small Bank
-  Trennung unterschiedlicher Wasserkörper
Boundary of Different Water Bodies



Metric - Camera - Aufnahme
0864 - 25, 05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr.
der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-6: Lagunenklassifikation des Etang de Galabert und seiner Umgebung

stoffracht zu unterscheiden. Beide Typen von Geländeoberfläche besitzen ein dunkles Reflektionsverhalten (→ Fig. 5-4 und 5-5). Es ist ebenso möglich, zwischen den beiden hell reflektierenden Geländeoberflächen des trockenen Schlicksandes und des Wassers mit starker Sedimentfracht zu unterscheiden (→ Fig. 5-7 und 5-8).

In Detail-Untersuchungen am 12. April 1984 und am 26. April 1984 wurden Profile durch den Etang de Galabert gelegt. Als Ergebnis ist insbesondere anzusehen, daß die dunkelsten Reflektionswerte im Etang de Galabert durch bis unter die Wasseroberfläche reichenden oder sogar flutenden grünen Algen hervorgerufen wurden. Ab einer Wassertiefe von $d = 60 \dots 70$ cm hört der Algenwuchs auf. Der Lagunenboden besteht hier dann aus Bruchschill mit Fe_2O_3 - Verkrustungen. Aus diesem Material wird bereits bei leichtem Mistral (wie beim MC-Aufnahmezeitpunkt wie auch zum Zeitpunkt der Geländearbeiten) Feinmaterial durch die windbedingte leichte Südströmung ausgewaschen. Es entsteht ein schwebstoffreicher heller Wasserkörper.

5.3.1.2 Kartierungstest II

In einem zweiten Kartierungstest zur Lagunenklassifikation wurde eine Papiervergrößerung im Maßstab 1 : 200 000 benutzt. Aufgrund der wesentlich höheren Kontrastausgewogenheit im Detail bei größerem Bildausschnitt gegenüber der Vergrößerung im Maßstab 1 : 50 000 tritt ein starker Informationsverlust auf, der sich darin bemerkbar macht, daß zwischen den einzelnen Grautonstufen wesentlich schlechter unterschieden werden kann. Es ergeben sich vier Helligkeitsstufen. Die Differenzierung in den helleren Bereichen ist nicht mehr möglich (→ Fig. 5-9).

5.3.2 Ergebnisse

Die in die Hydrologische Karte des Rhône-Deltas eingebrachten Ergebnisse der Lagunenklassifikation nach dem MC-Bild zeigen folgende Eigenschaften (→ Fig. 7-1):

MC-Bild des Etang de Scamandre am 07.12.83, 07-30 GMT



Fig. 5-7: Trockener Schlicksand des Etang de Scamandre (07 Dec 83, 07-30 GMT)

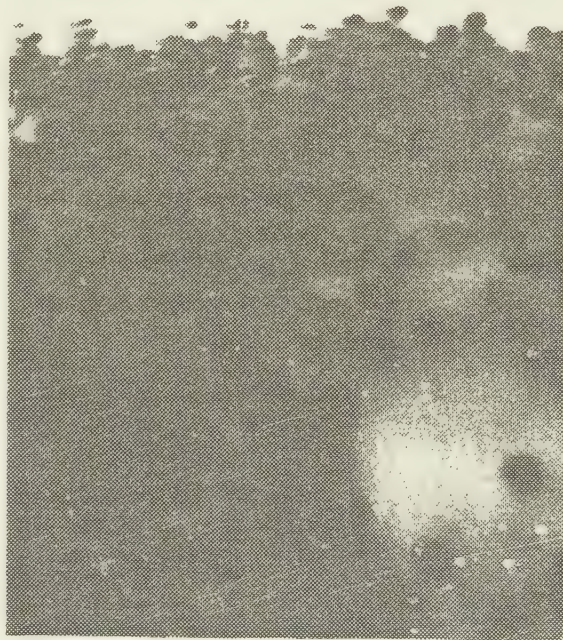
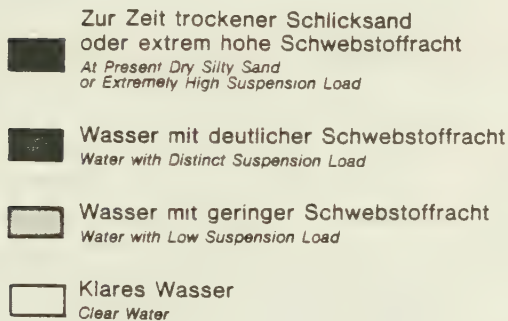
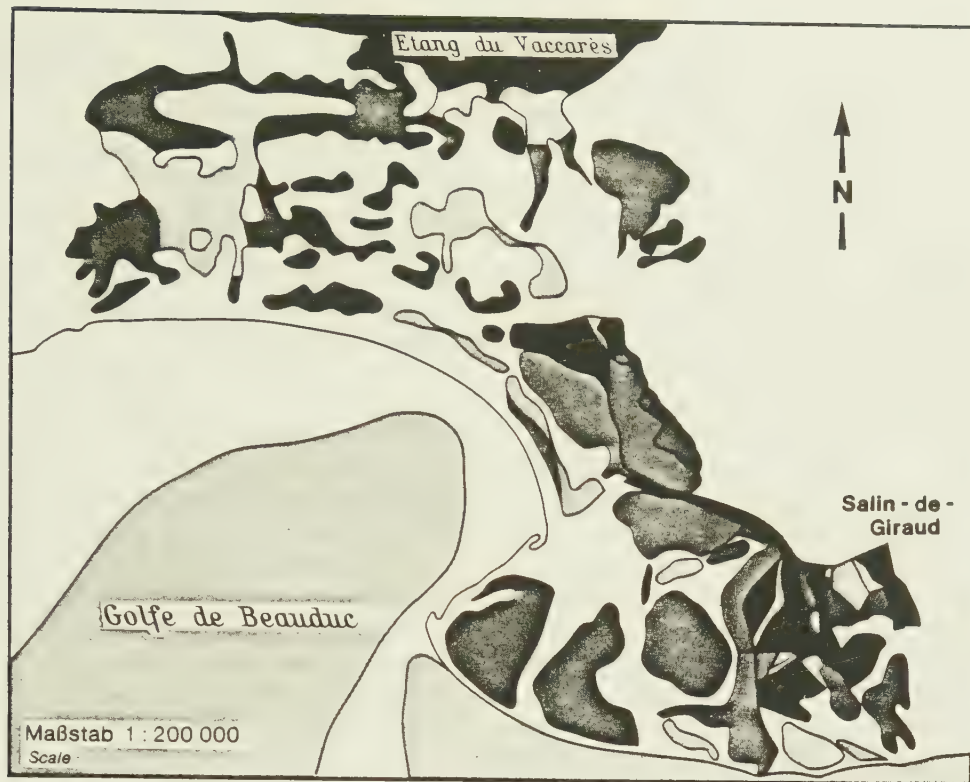


Fig. 5-8: Wasser mit starker Schwebstofffracht des Etang du Vaccarès (06 Dec 83, 12-40 GMT)



Metric - Camera - Aufnahme
0864 - 25.05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr.
der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-9: Lagunenklassifikation aus einer MC-Vergrößerung $m = 1 : 200\,000$

- Mit 96.1 % Sicherheit ist eine eindeutige Unterscheidung zwischen Wasserkörpern und (auch feuchtem !) Sand möglich.

gesamte Fläche der Lagunenzone	
lt. Hydrologischer Karte	263.8 km ²
Fläche der Realkartierung von	
diesem Gebiet	74.0 km ²
davon richtig aus MC klassifi-	
ziert	71.1 km ²

- Es ist ebenfalls möglich, Wasserkörper unterschiedlicher Qualitäten zu trennen. In diesem Fall wurde nach dem Gehalt an Schwebstofffracht unterschieden. Es könnte aber auch vegetationsbedecktes gegen vegetationsfreies Wasser oder auch in anderen

Gebieten tiefer Wasserkörper gegen flachen Wasserkörper abgegrenzt werden.

- Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine Klassifikation von stehenden Gewässern (hier in einer sehr komplexen Lagunenzone eines Deltabereiches) im Maßstab 1 : 50 000 sehr gut durchführbar ist, so daß die Anforderungen der Planungsphasen
 - Project Finding,
 - Feasibility-Studie und
 - Monitoring

in dieser Hinsicht voll erfüllbar sind, sofern man, und darauf sei noch einmal ausdrücklich hingewiesen, die Geländeuntersu-

chungen einzelner Flächen als "Standards" in die MC-Kartierungen einbeziehen kann.

Im Unterschied zu ähnlichen Kartierungen aus Landsat-Daten, bei denen in SE-Australien die Algenmenge bei 50 - 85 % Sicherheit (CARPENTER, 1983), in Texas die Wasserbewegungen (FINLEY and BAUMGARDNER, 1980), an der Nordsee-Küste der Sedimenttransport (GIERLOFF-EMDEN, 1982), im Yellowstone Park eine allgemeine Gewässerklassifikation bei 80 - 86 % Sicherheit (TOWNSHEDES, 1972) als Klassifikationsmerkmale zugrunde lagen, besteht bei der Kartierung aus Metric-Camera-Aufnahmen zwar der bisherige Nachteil der fehlenden Multispektralität der Aufnahmen, aber der starke Vorteil der einfachen Handhabung des Datenmaterials und der Vorteil des relativ hohen Auflösungsvermögens scheinen doch zu überwiegen, denn vergleichbare aus Landsat-Daten gewonnene Klassifikationen sind nur bis zum maximalen Maßstab von 1 : 125 000 in der Literatur dokumentiert.

Im Vergleich zu Kartierungsergebnissen, die Karten aus NOAA-5 - Aufnahmen zur Hochwassersituation am Red River (Minnesota) im Maßstab 1 : 5 Mio erbrachten (BERG, WIESNET and MATSON, 1979), oder Arbeiten zur Klassifikation von Feuchtgebieten von Virginia, die mit 20 - 80 % Fehler behaftet waren (PENNY and GORDON, 1975), ergaben Untersuchungen zur Super High Altitude Photography (SHAPH) im Bereich von Mainland wenigstens den Maßstab 1 : 125 000 (GIERLOFF-EMDEN, 1982) und recht zufriedenstellende Ergebnisse. Das Problem der Kartierung von Tonpfannen wurde mit Hilfe von Luftbildern 1 : 60 000 in Dehradun (Uttar Pradesh, Indien) bearbeitet (SHARMA and JAIN, 1978).

Das Earth Resources Experiment Package (EREP) auf Skylab erbrachte bereits 1976 multispektrale photographische Weltraumaufnahmen, die bei einer Bodenauflösung von 40 m in Kombination mit Bodenuntersuchungen zum Beispiel an der Küste von New Jersey ausgewertet wurden (KLEMAS, BARTLETT, PHILPOT, ROGERS and REED, 1974). Der Übergangsbereich feucht / trocken wurde in 6 Klassen eingeteilt, die mit 80-85 % Sicherheit in Karten 1 : 100 000 eingetragen wurden.

Multispektrale Auswertungen von Landsat-MSS - Daten der Ostsee erbrachten im Maßstab 1 : 200 000 recht gute Aussagen über Eutrophierungsprozesse (HORSTMANN, ULBRICHT and SCHMIDT, 1978). Sehr exakte Trübungsmessungen per Laser Scatterometer bei 440 nm im Ver-

gleich zu Geländemessungen mit der Secchi-Scheibe schienen bereits 1974 neue Wege aufzuzeigen (HICKMAN, GHOVANLOU, FRIEDMAN, GAULT and HOGG, 1974): Jedoch 30 % Fehler bei nicht auf andere Gebiete übertragbaren Ergebnissen erscheinen als zu hoch.

Der Versuch einer Quantifizierung von Wattflächen mit Hilfe von Landsat-MSS (Delaware Bay) basierte auf der Abgrenzung von Flächen mit salzliebender Vegetation gegenüber Flächen salzfliehender Vegetation (BARTLETT and KLEMAS, 1980). Bei 15-20 % Fehler kann die Biomasse nicht hinreichend zuverlässig ermittelt werden.

Eine äußerst präzise Untersuchung über die Verwendbarkeit von Landsat-MSS - Daten zur Lagunen- / Küstenklassifikation ist von ANDERSON, CARTER and McGINNESS (1975) erschienen. Nach intensiver digitaler Bildverarbeitung und anschließender photographischer Bildverarbeitung, sowie einer Vielzahl von Daten aus Unterfliegungen und optimiert ausgewählter Geländeuntersuchungen in South Carolina erbrachte anhand differenzierbarer Trübungsgrade der Wässer und unterscheidbarer Vegetationsbedeckungen eine Testkarte mit 6 Klassen.

Allen diesen hier beispielhaft angeführten Arbeiten haftet ein Problem an, nämlich daß sie alle nur mehr oder weniger kleine Testgebiete behandeln, die Autoren aber kaum Aussagen für ein größeres Gebiet wagen. Denn oftmals treten erst besondere Probleme bei den Kartierungen zur Lagunenklassifikation auf, wenn der Versuch unternommen wird, ein Areal vollständig zu bearbeiten. Die hier angesprochenen Probleme bestehen in der Maßstabsfrage. Ist das Auflösungsvermögen des Arbeitsmaterials zu gering, müssen die gewonnenen Aussagen zwangsläufig sehr allgemein bleiben. Mit solchen Aussagen kann dann aber keine thematische Karte im Maßstab 1 : 50 000 hergestellt werden.

Vor diesem Hintergrund erscheinen die bei den MC-Kartierungen gewonnenen Daten für die in Kapitel 7 dargestellte hydrologische Karte des Rhône-Deltas in besonders gutem Licht, bedenkt man, daß die MC-Daten nicht multispektral sondern nur panchromatisch vorliegen.

5.4 Erfassung des Küstenverlaufs und seiner Änderungen

5.4.1 Kartierungstests

5.4.1.1 Kartierungstest I

Die Lagune von Beauduc liegt in einem Küstenabschnitt des Golfe de Beauduc, der durch starke Umlagerungsprozesse gekennzeichnet ist. Aufgrund der Zirkulation im westlichen Mittelmeer werden erhebliche Sedimentmassen westwärts verfrachtet (→ auch Fig. 2-16). Sie kommen hier vor der Lagune von Beauduc zur Ablagerung. Das Überhebe- und Pumpwerk, das Meereswasser in die Vorkonzentrationsbecken der Salzgewinnungsanlage von Salin-de-Giraud pumpt, muß jedes Jahr um mehrere Dekameter nach Westen verlagert werden.

Am Beispiel dieses Küstenabschnittes sollte untersucht werden, inwieweit es möglich ist, mit Hilfe von Metric-Camera-Aufnahmen rezente Küstenveränderungen zu erfassen. Insbesondere interessiert die Genauigkeit der gewonnenen Daten.

Aus einer kontrastreichen Vergrößerung im Maßstab 1 : 50 000 auf Papier wurde die gut erkennbare Grenze zwischen Land und Wasser möglichst exakt in den Maßstab 1 : 10 000 übertragen.

Ein zweiter Arbeitsschritt bestand in der Einpassung der bei der Bodenaufnahme gewonnenen Vermessungsdaten. Vermessen wurde die Küstenlinie auf einem 2,5 km langen Abschnitt, und zwar unter Zuhilfenahme von einem Trigonometrischen Punkt und drei Leuchttürmen.

Zum Vergleich wurde anschließend die Grenze Land / Wasser aus der topographischen Karte 1 : 50 000 von 1974 übertragen.

In Fig. 5-11 (aus drucktechnischen Gründen im Maßstab 1 : 20 000) ist nun deutlich erkennbar, daß sich seit 1974 bis zum MC-Aufnahmezeitpunkt am 05. Dezember 1983 die Küstenlinie um bis zu 400 m seewärts verlagert hat und daß Teile der nördlichen Lagune inzwischen trockengefallen sind. Der südliche Lagunensee hat sich nach Südwesten verlagert, und zum nördlichen Lagunensee hat das Meer eine Verbindung durchgebrochen.

5.4.1.2 Kartierungstest II

Der östliche Mündungshaken der Grand Rhône im Golfe de Fos liegt in der Strandzone des Rhône-Deltas (→ Fig. 4-3). Im zweiten Kartie-

rungstest soll der Frage nachgegangen werden, ob es möglich ist, zwischen Wasserfläche, Watt und Strandsand zu differenzieren.

In Fig. 5-12 ist die Lage des Strandprofils mit Korngrößenanalyse in den Ausschnitt einer Seekarte eingetragen. Entlang eines Höhen-nivellements wurden in regelmäßigen Abständen Sedimentproben entnommen (→ Kap. 3.2.5). Die Ergebnisse der Kornfraktionsanalyse sind als Summenkurven in Fig. 5-14 wiedergegeben.

Die Grenze Strandsand / Watt ist aus der Graphik (B) der Fig. 5-14 eindeutig zu entnehmen: Zwischen dem Punkt 120 m und dem nächsten Punkt bei 140 m nimmt der Anteil an Feinmaterial in der Entnahmetiefe 30-35 cm von 0 % auf 30 % zu. Diese Grenze ist aus den Analysenwerten der Oberflächenproben (0-5 cm Entnahmetiefe) nicht abzuleiten.

Die MC-Kartierung erfolgte aus einer kontrast-ausgeglichene(n) Papiervergrößerung 1 : 50 000 (P^1 50) im Vergleich mit einem extrem kontrastreichen Transparent im Maßstab 1 : 100 000 (T^4 100). Wegen der präzisen Einmessung des Strandprofils war es möglich, das gleiche Profil aus den MC-Vergrößerungen zu extrahieren (→ Fig. 5-13).

Das Ergebnis von ~ 5 m Abweichung zwischen der Lage der im Gelände festgestellten Grenze Strandsand / Watt und der aus dem MC-Bild extrahierten zeigt die gute Verwendbarkeit der MC-Aufnahmen für Küstenkartierungen.

5.4.2 Ergebnisse

- Als Ergebnis hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten von Metric-Camera-Aufnahmen kann es aufgrund des vorliegenden Kontrastes zwischen dunklem Wasser bzw. relativ dunklem Watt und hellem Strandsand keinerlei Einschränkungen geben.
- Abweichungen zwischen der Bodenaufnahme und dem MC-Bild liegen bei ~ 5 m. Dies ist weniger auf ungenaue MC-Auswertemöglichkeiten zurückzuführen, sondern liegt überwiegend an den in der Zwischenzeit fortgeschrittenen Verlagerungsprozessen (Dezember 1983 bis April 1984 bzw. April 1983 bis Dezember 1983).
- Die Kartierung von Küstenverlauf und -verlaufsänderungen ist nach den Erfahrungen dieser Untersuchung bis zu einem Maßstab von 1 : 25 000 uneingeschränkt möglich.
- Die Maßstabs-Anforderungen der Planungsphasen
 - Project Finding,

- Feasibility-Studie und
- Monitoring

sind voll erfüllt. Bei sehr großräumigen Planungen können in Einzelfällen sogar schon Teile der endgültigen Planungen auf der Grundlage von MC-Aufnahmen vorgenommen werden (z. B. bei den Planungen zur Verhinderung von Strandversatz durch die Anlage von Buhnen).

Ob es allerdings möglich ist, die Strandzone im Sinne von GINSBURG (1975) (Dünenzonierung), im Sinne von ZANKE (1982) (Sedimenttransportraten) oder gar nach Dünenform und -aufbau im Sinne von REINECK and SINGH (1973) zu differenzieren, scheint fraglich. Wenn aber die morphologischen Gestaltelemente deutlich unterscheidbar sind (z. B. Tonpfanne, Strandsand, Lagunensee), ist eine Gliederung mit Hilfe der MC-Aufnahmen weitaus exakter, als dies z. B. MILLER (1977) in Padre Island/Texas anhand von Landsat-Daten gelungen ist.

GIERLOFF-EMDEN (1980) weist auf die Kartierungsprobleme hin, die dadurch entstehen, daß die Zeiteinheit von (insbesondere hohen) Tideprozessen und die Zeiteinheit von -Landsat-Scanner-Aufnahmen nicht gleich sind.

Mit TIROS-N und NIMBUS-7 wurden Kartierungsversuche unternommen, die aber Bodenauf-

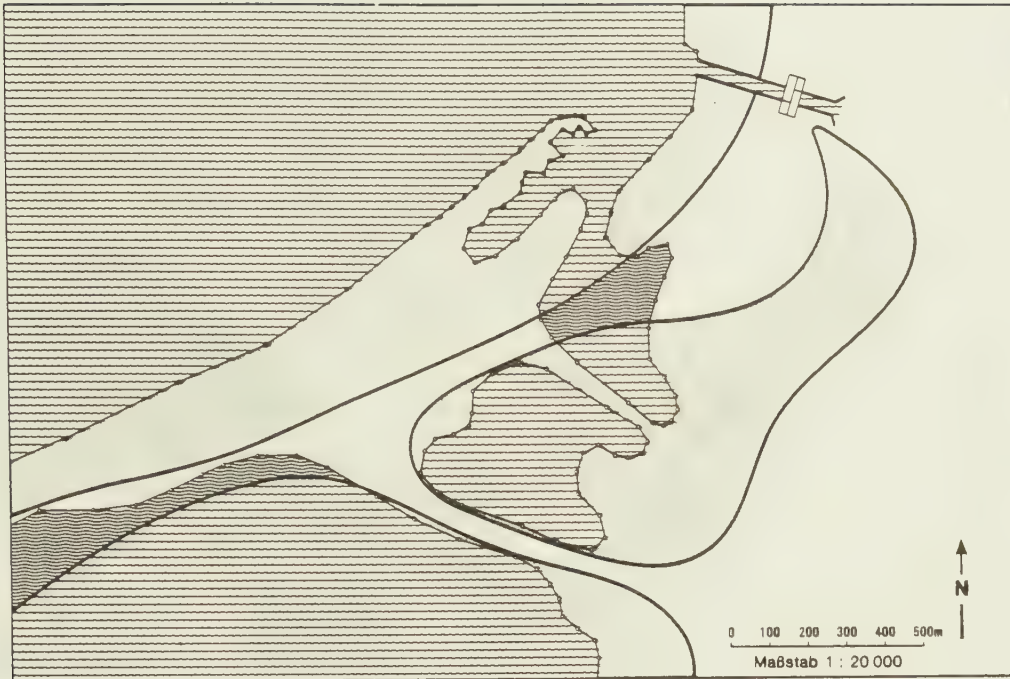
lösungen von 800-1100 m haben (WALD et MONGET, 1981). Der Vorteil dieser Aufnahmesysteme kann aber in der hohen Repetitionsrate von einem bzw. sechs Tagen liegen. Für wasserbauplanerische Ziele im Küstenbereich sind diese Systeme allerdings ebensowenig operationell wie MOMS. In zwei Studien (GIERLOFF-EMDEN, 1984), (KAUFMANN, BODECHTEL and HAYDN, 1984) werden Test-Kartierungen im Küstengebiet von Arica/Chile und am Nasser-See/Ägypten vorgelegt, die aber die maximalen Maßstäbe von 1 : 100 000 bzw. 1 : 400 000 erreichen.

Eine eindrucksvolle Arbeit zur Kartierung von Küstenlinien-Veränderungen seit 1850 mit Hilfe von multitemporalen Luftbildern und historischen Karten erbringt am Beispiel Nauset Spit/Massachusetts eine Karte 1 : 10 000 mit 3 m Lagegenauigkeit. Der Küstenabschnitt, der mehrfach für nautische Karten vermessen wurde, hat eine Länge von ~ 2 km (ANDERS and LEATHERMAN, 1982). Ein erheblicher Aufwand an Zeit, Personal und Geld erbringt somit vergleichbare Ergebnisse zu den oben beschriebenen MC-Kartierungen.

Zahlreiche Luftbildinterpretationen aus den 60er-Jahren zu diesem Themenbereich sind zusammengestellt bei FEZER (1971).



Fig. 5-10: MC-Ausschnittsvergrößerung ($m = 1 : 50\,000$) der Lagune von Beauduc, Kartierungstest I



Veränderung der Lagune von Beauduc 1974 - 1983 / 84
Change of the Lagoon of Beauduc 1974 - 1983 / 84



Küstenaufnahme
Coast Survey

- Grenze Land / Wasser in der Topographischen Karte
Land-Water-Boundary According to the Topographic Map
- Grenze Land / Wasser laut Bodenaufnahme
Land - Water - Boundary According to Ground Survey
- Grenze Land / Wasser laut Metric - Camera - Aufnahme
Land - Water - Boundary According to Metric Camera Image
- Zuwachs an Landfläche 1974 - 1983 / 84
Increase of Land Surface
- Zuwachs an Wasserfläche 1974 - 1983 / 84
Increase of Water Surface
- permanente Landfläche 1974 - 1983 / 84
Permanent Land Surface
- permanente Wasserfläche 1974 - 1983 / 84
Permanent Water Surface
- Überhebepumpwerk
Lift Pump

gez. nach: Topographische Karte 1 : 50 000 von 1974 (IGN)
drawn after: Topographic Map 1 : 50 000 from 1974 (IGN)

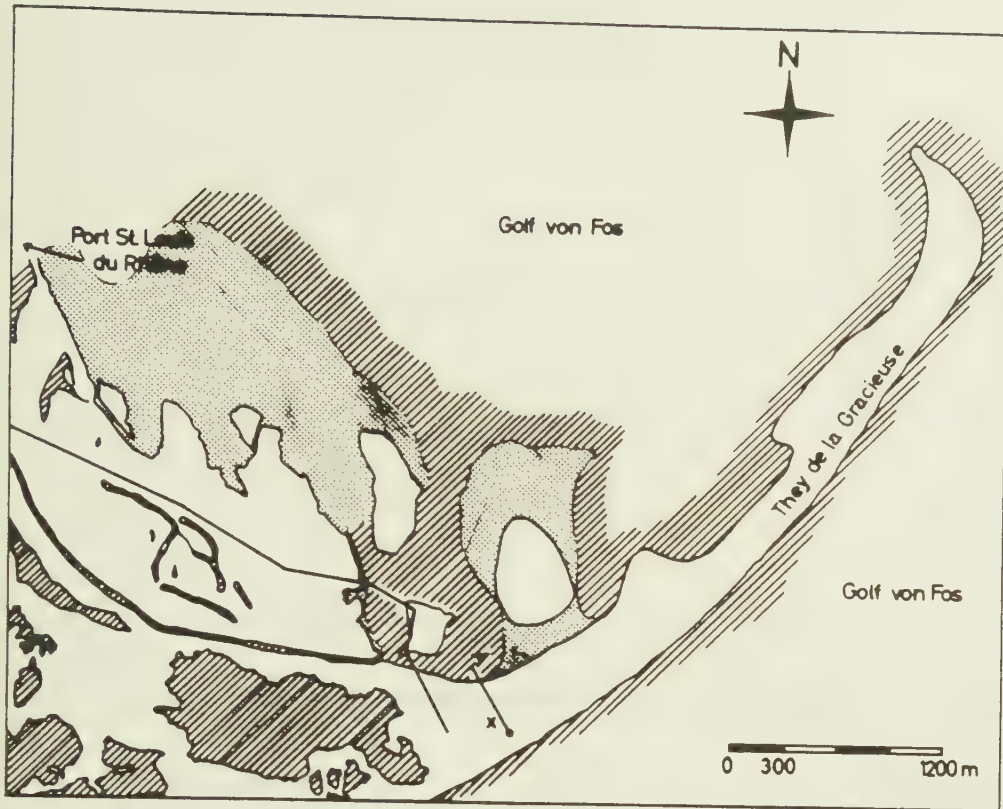
Bodenaufnahme 13. / 14.04.84 (Halm, Stolz, Hirtleiter)
Ground Survey

Metric - Camera - Aufnahme 0864 - 25, 05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Strandprofil am Golf von Fos (Lageskizze)



-  Wasserflächen
-  Sande
-  Sand-Schlick-Watt
-  Strasse
-  Standort des Messinstruments
-  Vermessenes Profil
-  Heutige Strandlinie

Karte: Mediterranean Sea
France, South Coast
Golfe De Fos
Maßstab 1: 30 000
Blatt 3498, 1973

Aufnahmegerät: Zeiss TH 4

Aufnahme: F. Nierhoff,
P. Kammerer,
S. Art
W. Stolz

Zeichnung und Entwurf:
S. Art

Datum: April / Mai 1983

Fig. 5-12: Lage des Strandprofils am Mündungshaken der Grand Rhône im Golfe de Fos

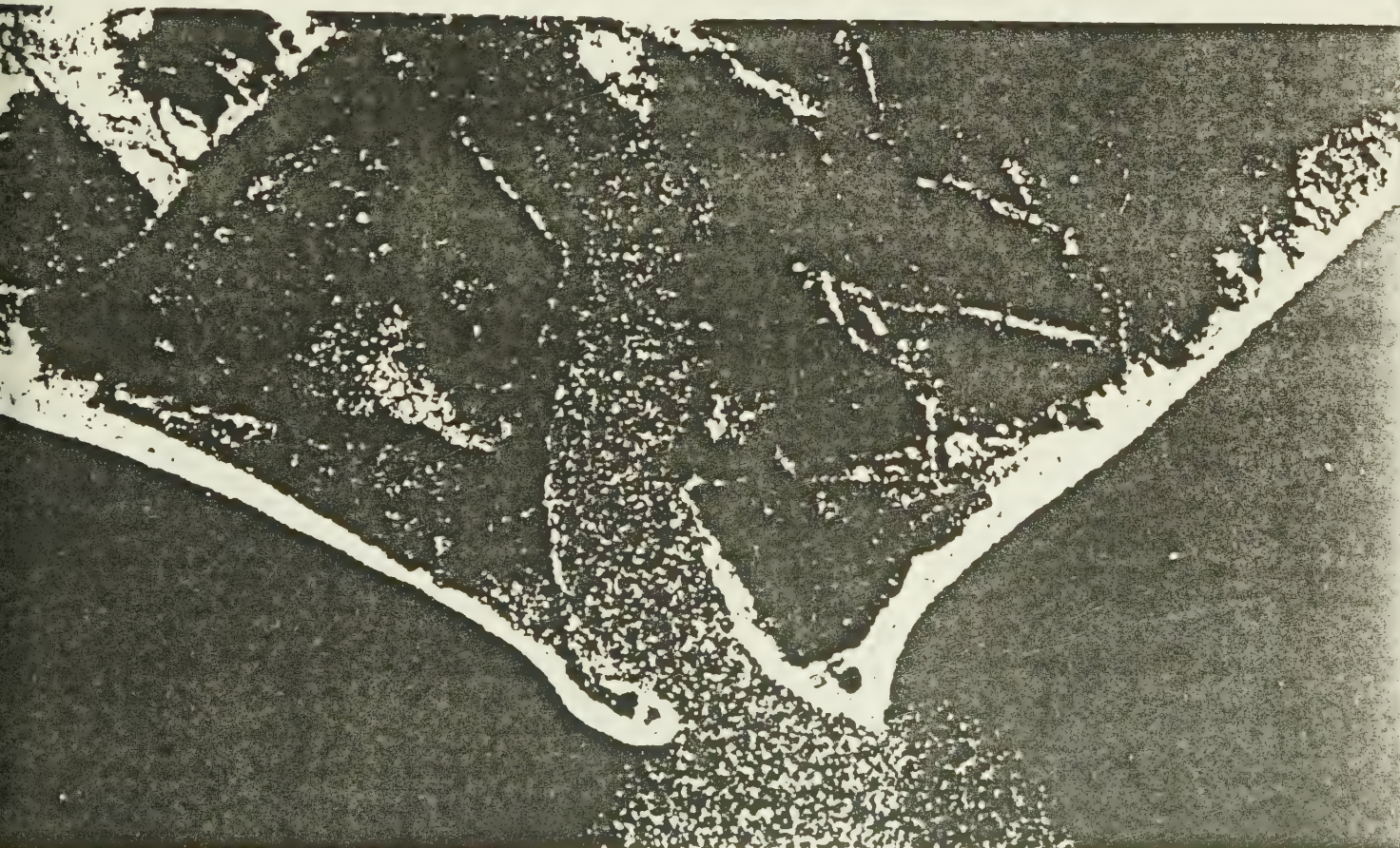


Fig. 5-13: Metric-Camera-Ausschnittsvergrößerung "Mündung Grand Rhône" ($m = 1 : 50\,000$)

Strandprofil und Korngrößenverteilung

Beach Profile and Grading

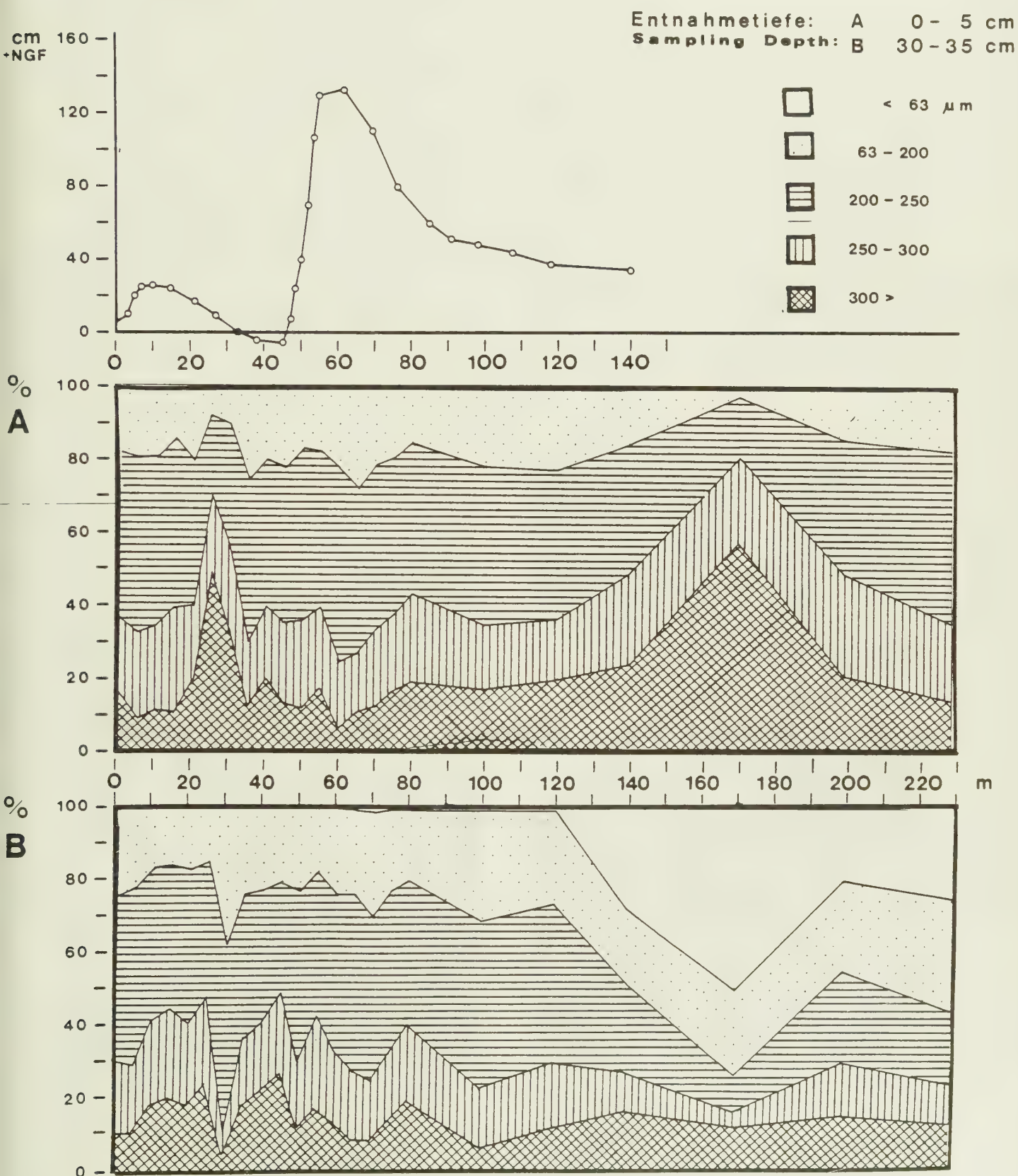


Fig. 5-14: Strandprofil und Korngrößenverteilung zum Kartierungstest II;
Geländeaufnahme April 1983 (Halm, Kammerer, Stolz, Aiblinger)
Laborarbeiten Mai 1983 (Halm, Aiblinger)

5.5 Differenzierung von landwirtschaftlichen Nutzungsklassen

5.5.1 Kartierungstests

Stellt man einen Papierabzug einer MC-Ausschnittsvergrößerung im Maßstab 1 : 50 000 dem gleichen Ausschnitt der Realkartierung von Fig. 4-4 gegenüber, so ist leicht zu erkennen, daß Felder, deren Realkartierung gleiche Oberflächenbedeckung aufweisen, im Metric-Camera-Bild durch unterschiedlich helle Grautonflächen repräsentiert werden (→ Fig. 5-17). Es scheint bereits auf den ersten Blick hin unmöglich, selbst mit Gelände-Testkartierungen Landnutzungsklassen flächendeckend kartieren zu können.

Die unlösbaren Probleme werden hervorgerufen, da zum MC-Aufnahmezeitpunkt am 5. Dezember 1983 um 09-00 GMT

- geflutete und ungeflutete Felder der gleichen Landnutzungsklasse vorlagen (Wein, Reis ...),
- auf manchen Feldern noch Rauhreif lag,

- innerhalb der gleichen Landnutzungsklasse verschiedene phänologische Zustände herrschten (Spargel, Obst ...) und
- aufgrund der niedrigen Sonnenhöhe große Flächen beschattet waren.

5.5.1.1 Kartierungstest I (Feldflutung)

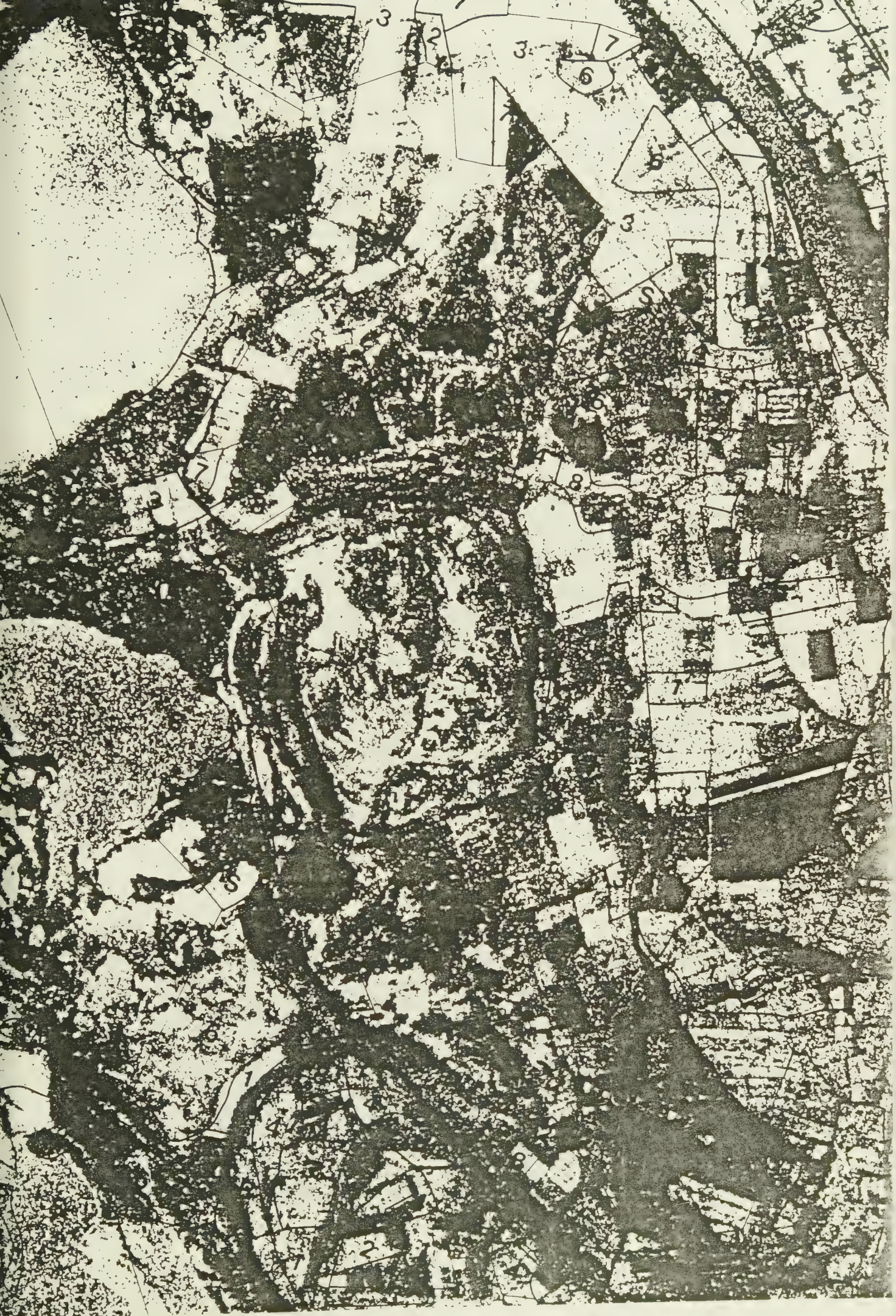
Bei der Geländekartierung der realen Bodenbedeckung ist in geflutete und ungeflutete Felder unterschieden worden. Insbesondere bei der Kartierung des Weinbaus fiel auf, daß weite Areale bis zu 40 cm tief geflutet waren, um die Reben vor Bodenfrostd zu schützen und um eine einfache Maßnahme zur Schädlingsbekämpfung durchzuführen (→ Fig. 5-15 und 5-16). Manche Felder waren noch feucht, da das Wasser erst kurze Zeit zuvor abgelassen worden war. So entstanden im Metric-Camera-Bild dunkle, mittelhelle und helle Felder, die im Gelände alle mit Wein bestanden waren. Eine Landnutzungsklasse kann also mehrere Reflektionswerte besitzen.



Fig. 5-15: Geflutetes Weinfeld bei St. Henri (06. Dec 83, 09-55 GMT)



Fig. 5-16: Trockenes Weinfeld bei St. Gilles (30 Apr 83, 08-35 GMT)



5.5.1.2 Kartierungstest II (Phänologie)

Bei den Geländearbeiten, insbesondere den Kartierungen zur realen Bodenbedeckung, fielen deutliche Unterschiede hinsichtlich des phänologischen Zustandes und des Alters der Pflanzen auf. So war der Spargel bereits teilweise umgebrochen, teilweise standen noch die vollständigen Pflanzen. Gegenüber dem dunkel erscheinenden Stoppelfeld (Bodenfarbe) hatten die noch stehenden Spargelfelder eine helle Farbe. Das bewirkt, daß bei der Registrierung durch die Metric-Camera-Aufnahme zwei Grautonstufen gegeben waren, obwohl es sich beide Male um ein Spargelfeld handelte.

Obstplantagen unterscheiden sich parzellenweise durch ihr Alter. Dabei haben alte Bestände eine relativ dichte Krone, so daß die Farbe des Bodens bei der MC-Aufnahme keine Rolle spielt, während junge Bestände weitestgehend den Boden zeigen (→ Fig. 5-18 und 5-19). Der Boden unter den Obstbäumen kann mit Gras bewachsen oder auch nackt sein. In der MC-Aufnahme treten somit für die Klasse "Obstanlagen" helle und dunkle Grautonflächen auf. Eine Zuordnung ohne Geländekartierung ist nicht möglich.



Fig. 5-18: Obstanlage mit älteren Bäumen bei Gallician (05 Dec 83, 09-05 GMT)



Fig. 5-19: Obstanlage mit jungen Bäumen bei Azegat (06 Dec 83, 11-35 GMT)

5.5.1.3 Kartierungstest III (Rauhreif)

Da die Metric-Camera-Aufnahme am 05. Dezember 1983 um 09 Uhr GMT erfolgte, gab es eine Vielzahl von Feldern und Wiesen, auf denen noch der Rauhreif der letzten Nacht lag (→ Kap. 2.5). Diese Felder erscheinen in der MC-Aufnahme deutlich heller als Felder gleicher Landnutzungsklassen. Als Beispiel sei hier die Aufnahme eines Reisstoppelfeldes gezeigt, die um 07-55 GMT am 06. Dezember 1983 bei St. Cesaire gemacht wurde (→ Fig. 5-20).



Fig. 5-20: Rauhreif auf einem Reisstoppelfeld bei St. Cesaire
(06 Dec 83, 07-55 GMT)

5.5.1.4 Kartierungstest IV (Schatten)

In Fig. 5-21 ist die terrestrische Aufnahme eines anderen Reisstoppelfeldes wiedergegeben. Die Aufnahme entstand am 05. Dezember 1983 um 13-45 GMT.

Von besonderer Auffälligkeit ist die Tatsache, daß selbst kleine Objekte, wenn sie sehr dicht stehen, eine ganz erhebliche Schattenwirkung haben. So kann aufgrund dieses Schattens ein an sich recht helles Feld in seiner Gesamtheit optisch dunkel erscheinen und ein dunkles Signal auf der Metric-Camera-Aufnahme erzeugen.



Fig. 5-21: Schatten in einem Reisstoppelfeld bei Mas d'Icard
(05 Dec 83, 13-45 GMT)

5.5.1.5 Kartierungstest V (Schatten)

Die Ile des Pilotes ist eine durch einen schmalen Nebenarm der Grand Rhône vom rechten Ufer abgetrennte Insel. Die Fließgeschwindigkeit des offenen Altwassers liegt unter 0.1 m s^{-1} (April 1984). Das westliche Ufer der Insel ist mit unterholzreichem Auwald bestanden. Am Ostufer ist dieser durch den hochwüchsigeren Galeriewald der Grand Rhône ersetzt.

In der MC-Aufnahme ist die Ile des Pilotes eindeutig identifizierbar, da auch der die Insel abtrennende Nebenarm der Grand Rhône fast lückenlos erkennbar ist.

Innerhalb der Insel sind im wesentlichen drei Grautonstufen zu unterscheiden. Wie aus der Gegenüberstellung mit dem Luftbild und dem Ausschnitt der topographischen Karte 1 : 25 000 deutlich ersichtlich ist (→ Fig. 5-22), stammen die dunklen West-Ost-verlaufenden Streifen von den Schatten der Baumreihen. Die Schatten haben im MC-Bild eine Breite, die ca. 60 m entspricht. Bei einer Sonnenhöhe von 15° und einem Azimut von 144° berechnet sich die Höhe der schattenwerfenden West-Ost-angeordneten Objekte zu etwa 23 m.

Die Baumreihen bestehen meist aus einer Doppelreihe ca. 25 m hoher Rotbuchen (*Fagus sylvatica*) und ca. 7 m hoher Lawsons Scheinzypressen (*Chamaecyparis lawsoniana*). Die als Unterwuchs dienenden Scheinzypressen füllen die Zwischenräume zwischen den Stämmen der Rotbuchen, die ihrerseits die windwurfgefährdeten Scheinzypressen schützen. Gemeinsam bieten sie guten Schutz gegen den Nord-Süd-strömenden Mistral. Der lehmig-sandige Boden der 100-150 m breiten Felder dürfte zum Aufnahmezeitpunkt des MC-Bildes meist unbewachsen gewesen sein. Beim Ground-Check im April 1984 waren die 14 südlicheren Felder mit Weizen und die 9 nördlicheren Felder mit Erbse bestellt.

Nord-Süd-verlaufende dünne Streifen im MC-Bild sind nicht ohne zusätzliche Informationen interpretierbar. Sie werden von Feldwegen oder Wassergräben hervorgerufen. Zwischen Gräben und Wegen ist aber aufgrund der schwachen Signale im MC-Bild nicht zu unterscheiden.

Der ehemalige Hof St. Christophe, der heutzutage meist nur noch als Lagerplatz und Maschinenhof dient, liegt unter großen Bäumen und ist daher im MC-Bild nicht erkennbar.

5.5.2 Ergebnisse

- Es ist nicht möglich, aus den Metric-Camera-Aufnahmen des Rhône-Deltas die Landnutzungsklassen auszukartieren. Das Erscheinungsbild der einzelnen Nutzungsklasse ist so vielgestaltig, daß selbst unter Einbeziehung von Test-Kartierung im Gelände keine Zuordnung möglich ist. Im Untersuchungsgebiet gibt es zudem 14 Hauptklassen der Landnutzung.

Selbst eine Überwachte Klassifikation ist nicht durchführbar, da die multispektrale Information fehlt. Insofern sind die Kartierungsarbeiten aus Landsat-Daten wesentlich zuverlässiger, auch wenn sie noch manchmal mit Detailfehlern behaftet sind.

HABERÄCKER, KIRCHHOF, KRAUTH, KRITIKOS, WINTER, SCHRAMM und SOSNOWSKI (1979) haben für Kreta nur nach Ackerland, Weinbau und Obstplantagen unterschieden, für den Raum Mannheim (1 : 200 000) sogar nur in Ackerland und Weinbau.

Der kombinierte Einsatz von IR-Luftbildern zu Landsat-Daten erbrachte deutlich verbesserte Ergebnisse einer Landnutzungskartierung am Roanoke River/Virginia (HILL and STOUT, 1979).

Vergleicht man die Ergebnisse der Realkartierung vom Dezember 1983 mit Angaben früherer Arbeiten über den Raum (z. B. AMMANN, 1970 oder FERRAS et PICHÉRAL, 1979 oder AMBASSADE de FRANCE, o.J.) oder auch mit den Angaben in den topographischen Karten 1 : 25 000, so wird deutlich, wie oft die Landwirte in diesem Gebiet die Anbauart wechseln. Bei steigender Nachfrage werden aus Weizenfeldern Reisfelder, auf ehemaligen Rebenfeldern wird Spargelanbau betrieben oder auch umgekehrt.

Spezielle Untersuchungen, wie zum Beispiel zur Erntevorhersage von Weizen, nutzen die Multispektralität aus (WIEGAND, RICHARDSON and KANEMASU, 1979). Bei Kombination von Landsat-Daten mit einigen Geländeuntersuchungen werden ~ 60 % Sicherheit erzielt. Werden hingegen ausgedehnte Bereiche durch Geländemessungen abgedeckt, so steigt die Rate der richtigen Kartierungen auf 80-90 %.

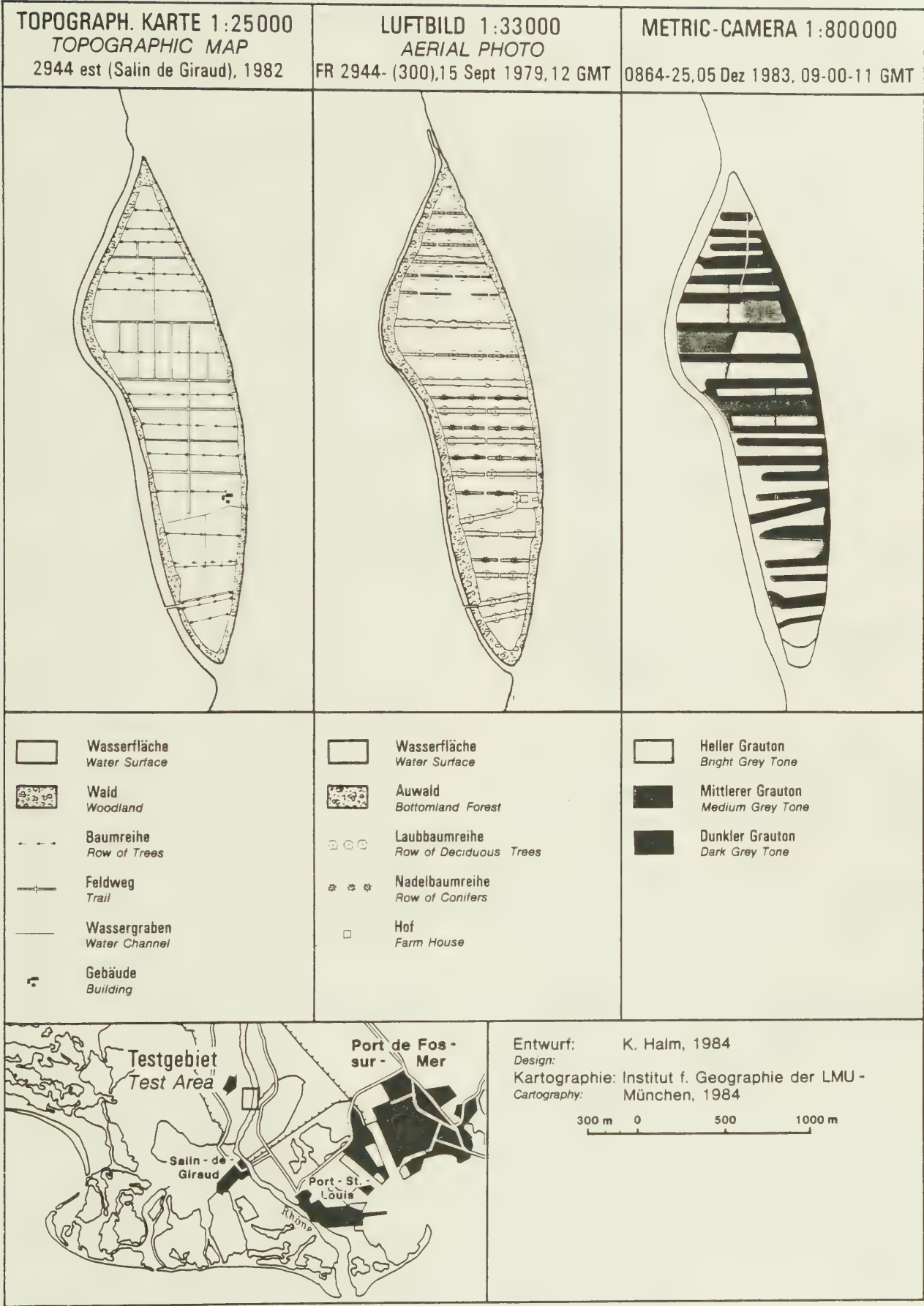


Fig. 5-22: Schattenwirkung von Baumreihen: Ausschnitt Ile des Pilotes

5.6 Salzwasser - / Süßwassergrenze

5.6.1 Kartierungstest

14 km oberhalb der Mündung der Grand Rhône in den Golfe du Lion ist linksseits der heutigen Rhône deutlich ein ehemaliger Flußmäander im Grand Plan du Bourg zu erkennen (→ Fig. 5-34, Ausschnittsvergrößerung des MC-Bildes in 1 : 50 000). Sowohl in der geologischen Karte (→ Fig. 4-3) als auch in der Karte der Bodenbedeckung (→ Fig. 4-4) ist der Verlauf des Bras Mort nachzuvollziehen. Nach Auskunft von Anwohnern soll Mitte letzten Jahrhunderts auf diesem Altarm noch Baumaterial auf Lastkähnen transportiert worden sein.

Es handelt sich um eine Landschaftszone, die durch den Übergang von der fluviatilen Zone der Grand Rhône über die Lagunenzone zur Strandzone charakterisiert ist. In dieser Zone ist die Grenze von Salzwasser und Süßwasser zu erwarten. Dabei muß in eine unterirdische Grenze im Aquifer und in eine oberirdische Grenze in den Oberflächenwässern unterschieden werden.

Aufgrund des hohen untersuchungstechnischen Aufwandes war es im Rahmen der Geländearbeiten zu dieser Arbeit nicht möglich, Salzgehaltsmessungen im Grundwasser vorzunehmen. Darüber hinaus liegen die beiden Wasserkörper vermutlich relativ dicht übereinander, so daß sich die Beschaffenheit des Grundwasserkörpers trotz des Dichteunterschiedes bis zur Oberfläche durchpaust.

In Fig. 5-23 sind alle Salzgehaltsmessungen der Fließgewässer enthalten, die im Rahmen der drei Geländearbeitsperioden gemacht wurden. Einzelne Meßwerte fielen deutlich aus dem Rahmen, so daß vermutet wurde, daß es sich um zufällige Einzelereignisse handelte. Diese "Ausreißer" sind nicht in die Karte der Salzgehaltsmessungen eingearbeitet worden.

Die Karte ist durch Folgendes charakterisiert:

- Ein Teil der Fließgewässer konnte wegen Unzugänglichkeit nicht erreicht werden, oder die Gerinnebetten waren zur Zeit der Geländeaufnahme trocken. Es konnten also dort keine Messungen erfolgen (durchgezogene Linien).
- Da es sich beim Rhône-Delta um eine intensiv genutzte Kulturlandschaft handelt, gibt es so gut wie keine natürlichen Gerinne. Dies betrifft sowohl die Form des

Bettes als auch teilweise den Verlauf der Gerinne (künstliche Kanäle und Gräben).

- Darüber hinaus wurde von den Menschen den einzelnen Gerinnen Funktionen zugewiesen: Sie dienen als Wasserzuleitung oder als Wasserableitung.
- Die Zuleitungen sind (meist über Hebepumpwerke) mit Wasser der Grand Rhône oder der Petit Rhône gespeist und führen Bewässerungswasser über ein kompliziertes Geflecht von Kanälen zu den landwirtschaftlichen Produktionsgebieten. Der Salzgehalt ist meist gering und entspricht dem der Rhône (punktierte Linien in Fig. 5-23).
- Die Ableitungen führen salzhaltiges Drainagewasser von den landwirtschaftlichen Produktionsgebieten ab. Sie münden entweder in einen der Lagunenseen (besonders Etang du Vaccarès) oder aber in einen der Rhône-Arme. Der Salzgehalt liegt deutlich über dem der Rhône (4-10facher Wert). In den Lagunenseen führt er als Langzeitwirkung zur Aussüßung, da der Salzgehalt der Lagunenseen noch den 5-10fachen Wert des Drainagewassers besitzt (gerissene Linien in Fig. 5-23).
- Die Karte der Salzgehaltsmessungen zeigt die enge innere Verflechtung von Bewässerungs- und Entwässerungssystem.

In einer Detail-Untersuchung wurde versucht, die oberirdische Salzwasser- / Süßwassergrenze mit Hilfe der Metric-Camera-Aufnahmen zu erfassen. Dazu erfolgte im südlichen Teil des Bras Mort am 19. April 1984 eine Geländeaufnahme.

Ein 980 m langes Nivellement-Profil des Mikroreliefs wurde als Querschnitt durch den Altarm gelegt. Gleichzeitig wurde die Bodenbedeckung in 64 Abschnitten kartiert und jeweils photographisch dokumentiert.

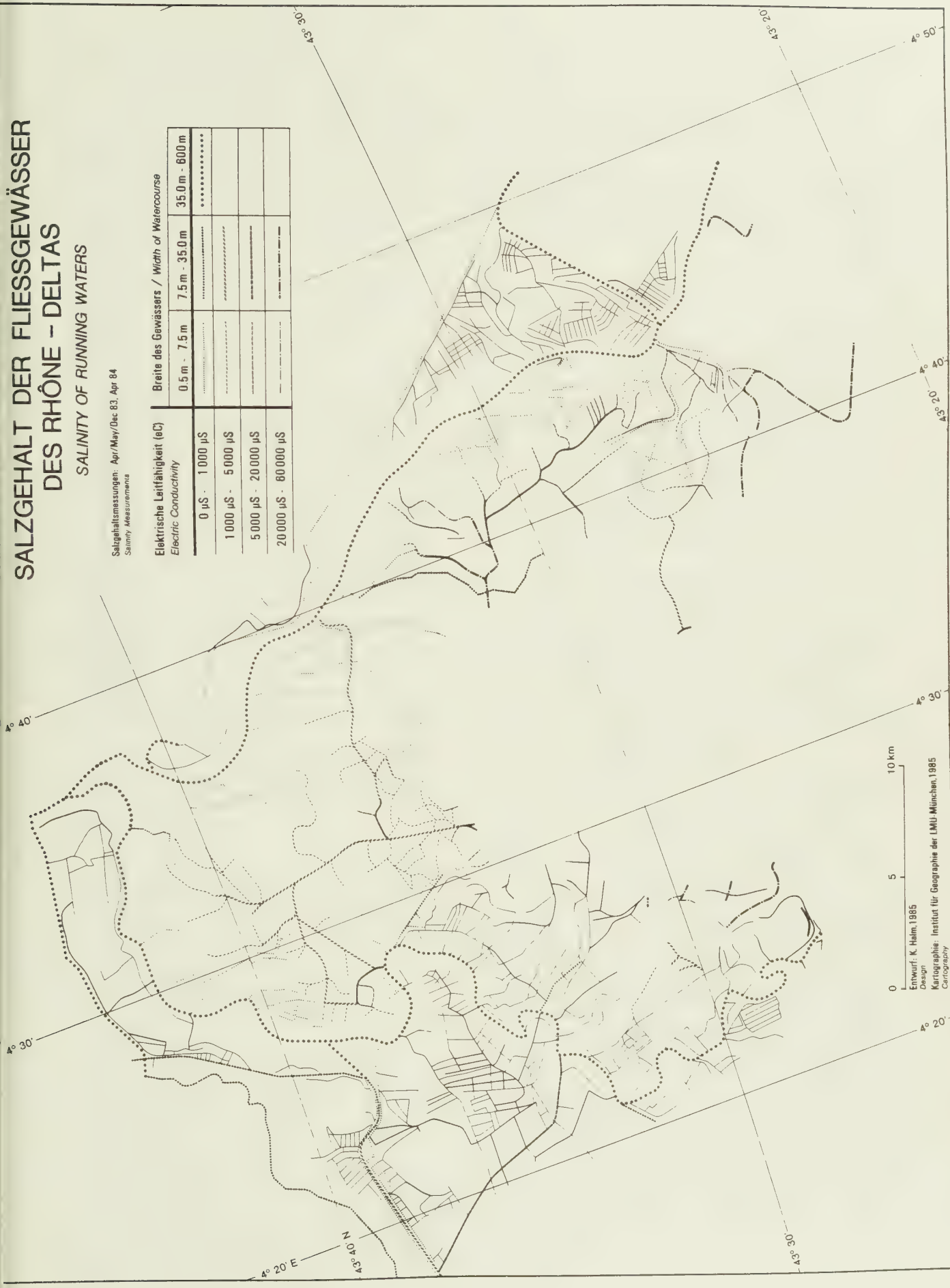
In der Fig. 5-24 ($m = 1 : 2\,500$) ist unter dem topographischen Profil die Zusammensetzung der Bodenbedeckung in Prozenten dargestellt. Oberhalb des topographischen Profils ist der entsprechende Streifen der Metric-Camera-Aufnahme aufgetragen.

Die Profilanfangs- und endpunkte wurden über Wassertürme, freistehende Gebäude und einen Bahnübergang eingemessen. Das Profil beginnt hinter einem Rapsfeld an einem Wassergraben (→ Fig. 5-25). Daran anschließend folgt ein leicht unebenes Gelände. Die Oberflächenbedeckung besteht aus mehr oder weniger dichten Salzwasser anzeigenden Quellerbeständen. Fahrspruen bei 15 m (→ Fig. 5-26)

SALZGEHALT DER FLIESSGEWÄSSER DES RHÔNE - DELTAS SALINITY OF RUNNING WATERS

Salzgehaltsmessungen: Apr/May/Dec 83, Apr 84
Salinity Measurements

Elektrische Leitfähigkeit (eC) Electric Conductivity	Breite des Gewässers / Width of Watercourse			
	0.5 m - 7.5 m	7.5 m - 35.0 m	35.0 m - 600 m	
0 µS - 1 000 µS				
1 000 µS - 5 000 µS				
5 000 µS - 20 000 µS				
20 000 µS - 80 000 µS				



0 5 10 km
Entwurf: K. Halm, 1985
Design
Kartographie: Institut für Geographie der LMU München, 1985
Cartography

Fig. 5-23: Salzgehalt der Fließgewässer nach Geländemessungen 1983 und 1984

und Partien mit nacktem Boden bei 55 m (→ Fig. 5-27) durchziehen das Gelände. Reste von Gräben mit dem parallel verlaufenden Aushub bei 140 m (→ Fig. 5-28) und bei 205 m begrenzen einen Bereich, der mit Süßwasser anzeigendem hohen Gras bestanden ist. Bei 240 m fällt das Gelände plötzlich um ca. 1 m ab (→ Fig. 5-29). Im tiefsten Bereich der anschließenden Zone (ehemaliger Flußlauf) liegt bei 280 m eine Tonpfanne, an deren Oberfläche erkennbar ist, daß sich zeitweilig dort Wasser sammelt (→ Fig. 5-30). Das Gelände wird zunehmend mit Queller bestanden, wie in dem rückblickenden Photo vom Damm bei 460 m zu erkennen ist (→ Fig. 5-31). Die Geländehöhe liegt anschließend nur noch bei ca 40 cm über dem Meeresspiegel und wiederum sammelt sich dort zeitweilig Wasser. Der Rückblick vom nächsten Damm (= Kanaushub) bei 580 m (→ Fig. 5-32) zeigt, daß dieses Gebiet auch als Weidefläche genutzt wird. In der Zone bis ca. 700 m liegen mehrere Entwässerungsgräben, ein Eisenbahndamm (630 m) und ein Feldweg (670 m). Die nachfolgende Stierweide war zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme am 19. April 84 teilweise geflutet (→ Fig. 5-33 bei 740 m). Zur Bewässerung dienen die beiden aus Beton-elementen errichteten Verteilerkanäle bei 690 m und bei 810 m. Bei 815 m befindet sich ein Drainagegraben, und daran schließt sich ein weiteres als Stierweide genutztes Grasland an.

Eine Zuordnung des topographischen Profils mit der zugehörigen Bodenbedeckung zu dem Profil der Metric-Camera-Gräutöne bringt folgende Ergebnisse:

- Eine exakte Zuordnung ist nicht möglich. Ein Grund mag der unterschiedliche Zeitpunkt von MC-Aufnahme und Geländebegehung und damit verbunden die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit sein (geflutet - nicht geflutet).
- Unveränderliche Bereiche (Wege, Bewässerungsanlagen, Gräben) sind auch im MC-Bild zu lokalisieren.
- Die Tonpfanne (260 m bis 400 m) ist durch dunkle Gräutöne repräsentiert. Es könnte der Boden zur Zeit der MC-Aufnahme feucht gewesen sein bzw. Oberflächenwasser gestanden haben.
- Die großen einheitlichen Zonen der Stierweiden ab 700 m bis zum Profilende bei 980 m sind im MC-Bild mehrfach unterteilt.
- Die Zonen des Süßwassers (Büsche, Binse, hohes Gras) sind im MC-Bild nicht von den

Zonen des Salzwassers (Queller, nackter Boden, Wasser) abgrenzbar.

- Eine Aussage über die Salzwasser - Süßwassergrenze, die im Gelände eindeutig feststellbar ist, ist aus dem MC-Bild nicht möglich.
- Selbst unter Einbeziehung der äußerst detaillierten Geländeaufnahme ist eine Deutung des MC-Profiles völlig unmöglich.

5.6.2 Ergebnis

- Es ist nicht möglich, aus der Metric-Camera-Aufnahme des Rhône-Deltas die Salzwasser - Süßwassergrenze zu extrahieren, da die Reflektionswerte von süßwasserbeeinflusster Oberflächenbedeckung von salzwasserbeeinflusster nicht signifikant unterscheidbar sind. Dies gilt zumindest für den extrem komplexen und kleinräumig wechselnden Bereich eines Altarmes in einer intensiv genutzten Kulturlandschaft.

Es ist mir keine Arbeit in der Literatur bekannt, in der beschrieben wird, daß mit Hilfe von Satellitenaufnahmen die genannte Grenze erfaßt worden wäre. Es gibt eine Vielzahl von Arbeiten, die anhand von infrarot-aktiven organogenen Wasserinhaltsstoffen (Phytoplankton, Chlorophyll) Klassifikationen vornehmen (z. B. DÖRFFER, 1979; LINDELL, 1980; MANCY, SMITH and LATIF, 1982).

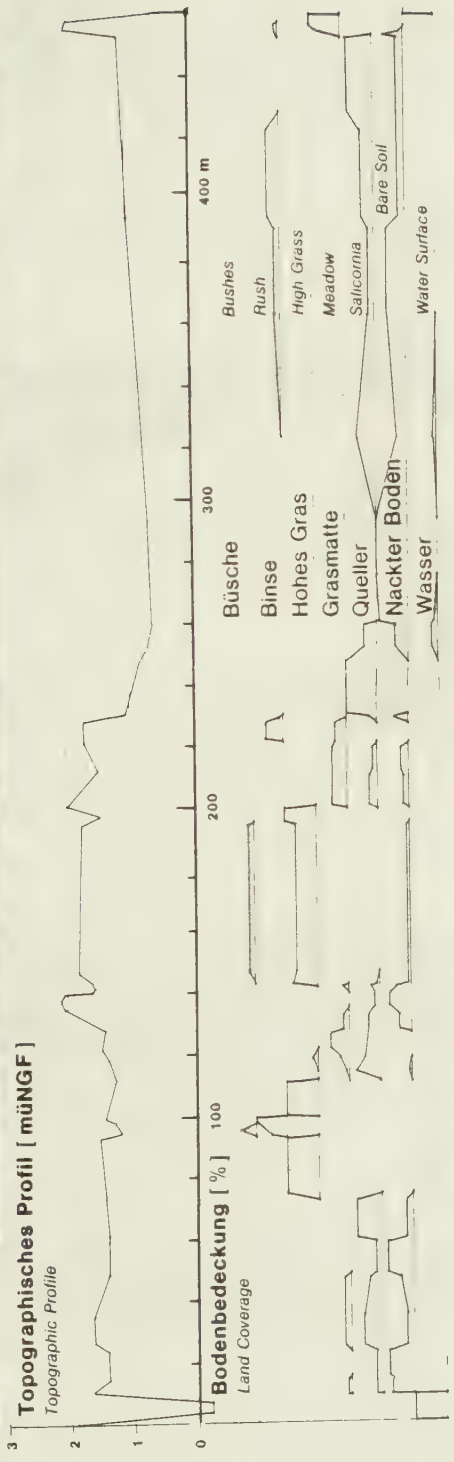
Eine ebenso große Anzahl von Arbeiten beschäftigt sich mit der Erfassung der thermalinfraroten Unterschiede von Wässern unterschiedlicher Qualitäten (z. B. ALFÖLDI and MUNDAY, 1978; SCHOTT and SCHIMMINGER, 1981).

PARADA, SHIMABUKURO, DOSSANTOS and DE-QUINO (1982) gelangen für vier Testregionen im Amazonas-Becken zu sechs aus Landsat-Daten erarbeiteten Klassen von hydrophiler Vegetation, jedoch nur zu zwei Klassen von Gewässern, die sie durch Kombination mit Radardaten erhalten haben. Die Unterscheidung ist nur aufgrund des Schwebstoffgehaltes erfolgt.

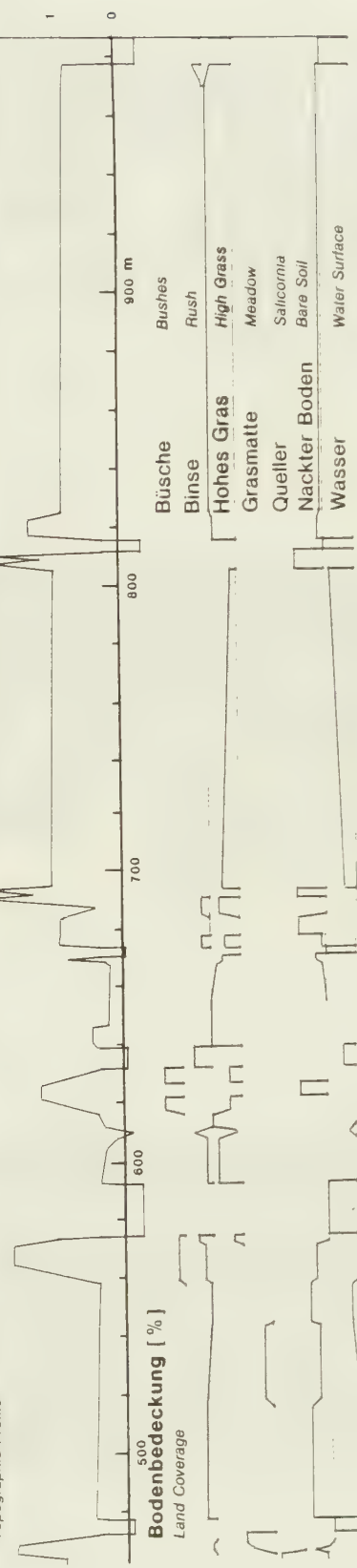
In einer interessanten Studie kommt BLACKWELL (1982) zu dem Ergebnis, daß digitale gut bearbeitete MSS-Daten auch einer unüberwachten Klassifikation hinsichtlich der Wasserqualität unterworfen werden können, wenn anschließend qualifizierte Gewässer-Fachleute die Daten auswerten. Als Ergebnis werden Wasserfarbe und Strömung angegeben (→ auch bei MOORE, 1978).

Maßstab 1 : 2500
Scale

Metric - Camera - Grautöne
Metric Camera Gray Tones



Topographisches Profil [müNGF]
Topographic Profile



Metric - Camera - Aufnahme 0864 - 25, 05 Dec 83, 09 - 00 - 11 GMT

Metric Camera Image

Geländeaufnahme: 19 Apr 84 (Halm, Stolz, König)

Entwurf: K. Halm, 1984

Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München. 1984

Cartography

Fig. 5-24: Vergleich von Metric-Camera-Grautönen mit einem topographischen Profil und einem Profil der Bodenbedeckung durch den Bras Mort



Fig. 5-25: Profil Bras Mort (Profilanfang)



Fig. 5-26: Profil Bras Mort (bei 15 m)

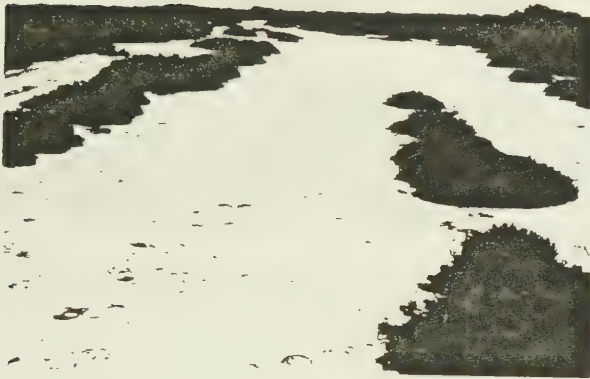


Fig. 5-27: Profil Bras Mort (bei 55 m)



Fig. 5-28: Profil Bras Mort (bei 140 m)



Fig. 5-29: Profil Bras Mort (bei 240 m)



Fig. 5-30: Profil Bras Mort (bei 280 m)

Fig. 5-25 bis 5-33: alle terrestrischen Aufnahmen entstanden am 19 Apr 84, 09-00 bis 18-00 GMT

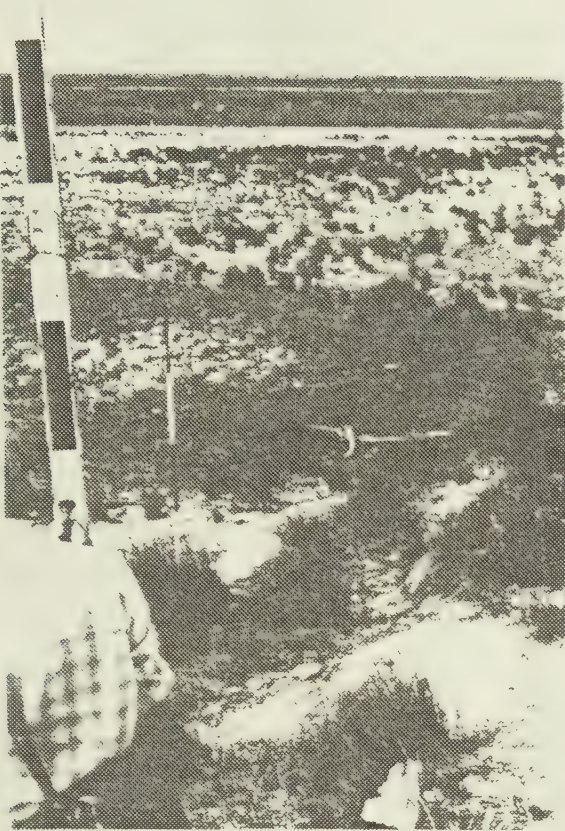


Fig. 5-31: Profil Bras Mort (bei 460 m)

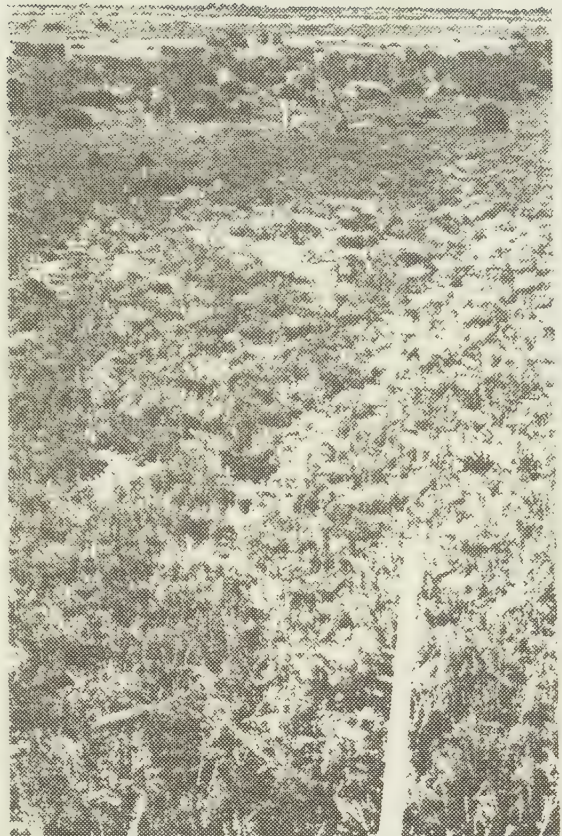


Fig. 5-32: Profil Bras Mort (bei 580 m)

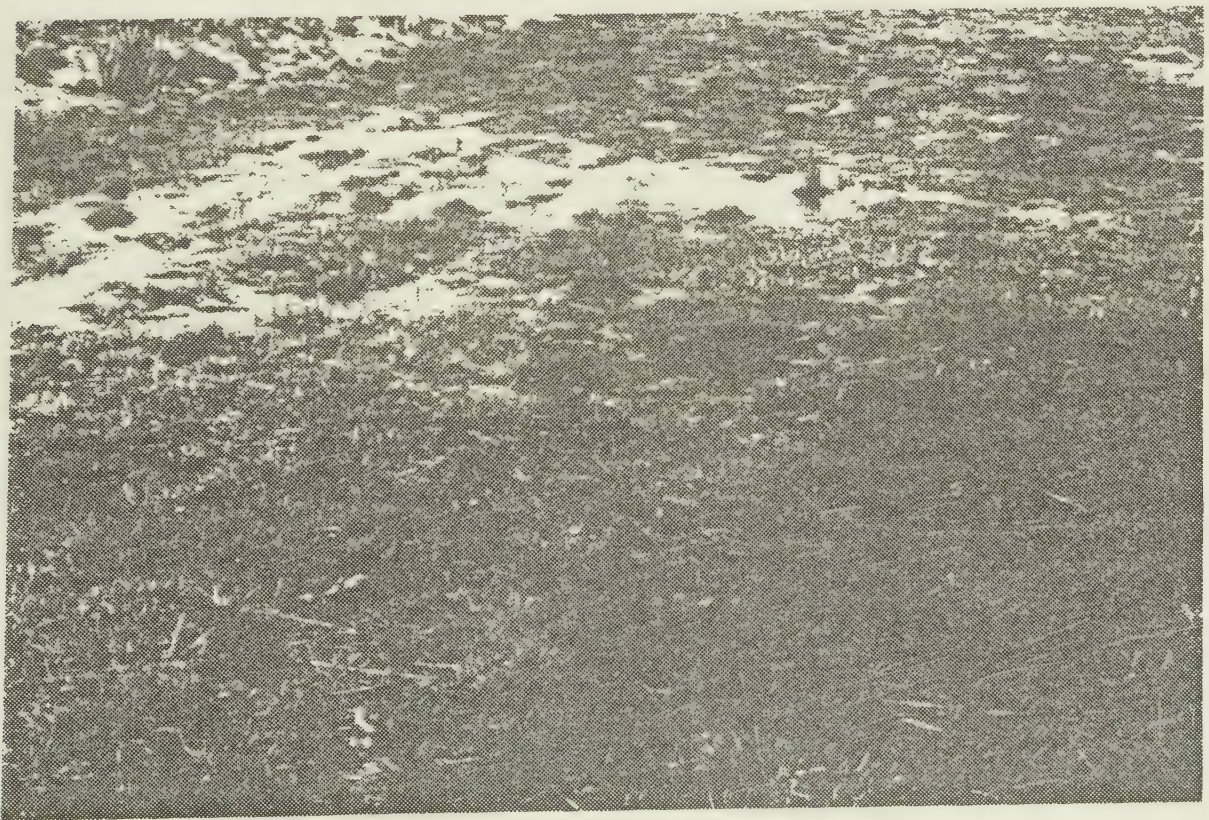


Fig. 5-33: Profil Bras Mort (bei 670 m)



Fig. 5.34: MC Ausschnittsvergrößerung "Grand Plan de Bourc" ($m = 1 : 50\,000$)

5.7 Struktur von Salzgewinnungsanlagen

Die Funktion der Salzgewinnungsanlagen im Rhône-Delta beruht auf der Tatsache, daß aufgrund der relativ hohen Luft-Temperatur und des meist kräftigen Windes die Rate der potentiellen Verdunstung mit 1 250 mm/Jahr fast dreimal so hoch ist wie der jährliche Niederschlag (430 mm/Jahr). Darüber hinaus fallen in 9 Monaten pro Jahr weniger als 50 mm Niederschlag.

Ca. 80 Mio m³ Meerwasser werden pro Jahr auf komplizierten Wegen über 50 km durch eine Kette von wasserundurchlässigen Teichen gepumpt. In den Vorkonzentrationsbecken steigt so der Salzgehalt von 29 g/kg H₂O auf 100 g/kg H₂O. In den eigentlichen Salzerzeugungsbecken wird die Restkonzentration von 260 g/kg H₂O erreicht. Die Erntebecken mit einer Fläche von jeweils ~ 9 ha sind durch Dämme von 50-200 cm Breite von einander getrennt. (Salzgärten an der Guérande haben nach GIERLOFF-EMDEN, 1981 meist die Ausmaße 20 m x 30 m (= 0.6 ha.)

5.7.1 Kartierungstest

Im Metric-Camera-Bild (→ Fig. 5-36) ist die Struktur der Salzerzeugungsgärten eindeutig zu erkennen, auch die 50 cm breiten Trennwände (→ Fig. 5-35). Darüber hinaus ist aufgrund des deutlichen Reflektionsunterschiedes von trockenem salzbedecktem Boden und Wasserfläche fehlerfrei festzustellen, ob die Becken geflutet sind oder nicht.

5.7.2 Ergebnis

- Überträgt man das hier gewonnene Resultat der eindeutigen Kartierbarkeit von gefluteten Feldern und deren Begrenzung auf Probleme der Kartierung in Gebieten mit Naßfeldebau, so muß man zu dem Schluß kommen, daß die Metric-Camera-Aufnahmen außerordentlich gute Dienste leisten könnten. Voraussetzung ist allerdings, daß die Anbaufrucht bekannt ist und im betreffenden Gebiet nicht variiert (vgl. Kap. 5.5).
- Die Kartierung von Salzbergen ist wegen der extrem hellen Grautonflächen relativ einfach, auch wenn das Gebiet um Salin-de-Giraud insgesamt wegen der Salzstäube recht hell reflektiert.
- Ein Abwasserteich der angeschlossenen chemischen Fabrik würde ohne Geländekenntnis als Salzberg kartiert werden. Die außergewöhnliche Helligkeit stammt von den Restsalzen in der aufgearbeiteten Salzmutterlauge. Es handelt sich vorwiegend um MgSO₄, MgCl₂, MgCO₃ und MgO (→ hellster Fleck im MC-Ausschnitt Fig. 5-36).

Wissenschaftliche Untersuchungen über die Erkennbarkeit von Salzausblühungen an der Bodenoberfläche mit Hilfe von Satellitenbildern sind noch nicht häufig vorgenommen worden. Eine wesentliche Arbeit über die Versalzung eines landwirtschaftlichen Gebietes in der zentralen Türkei zeigt durch Substraktion der multispektralen MSS-Daten von 1975 von denen aus 1979 die fortgeschrittene Versalzung (THIES, 1981).



Fig. 5-35: Salzgewinnungsanlagen bei Salin-de-Giraud (08 Dec 83, 09-10 GMT)

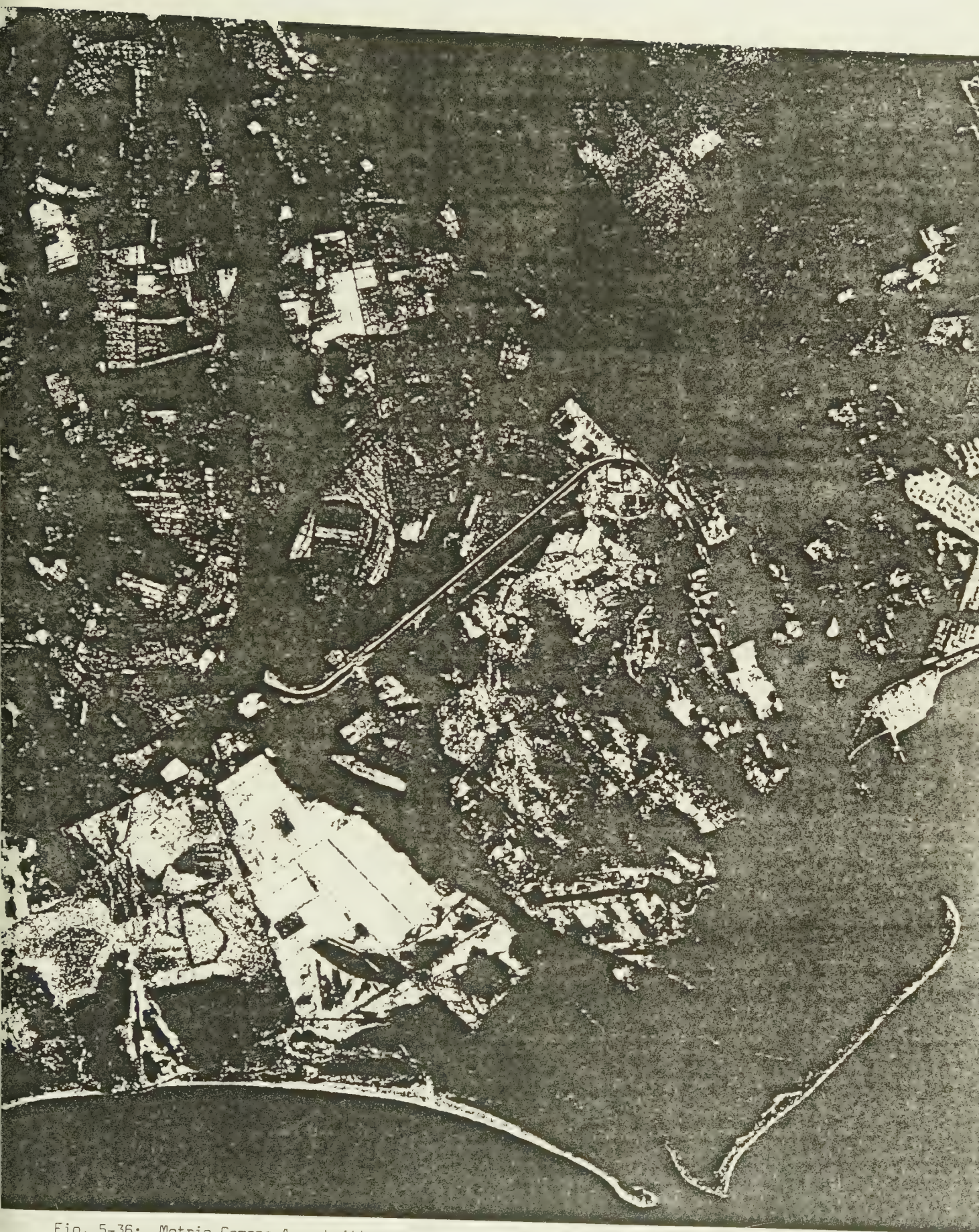
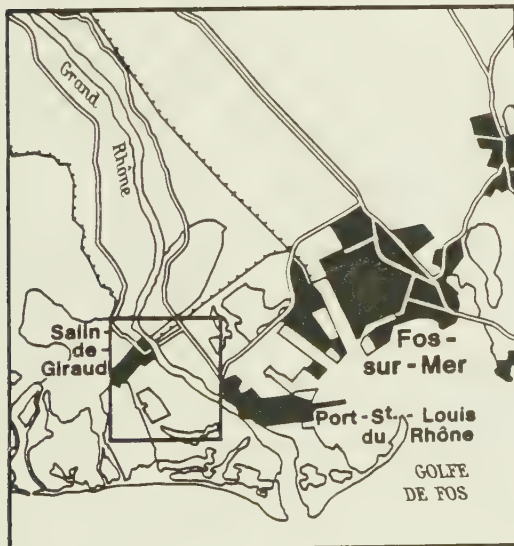
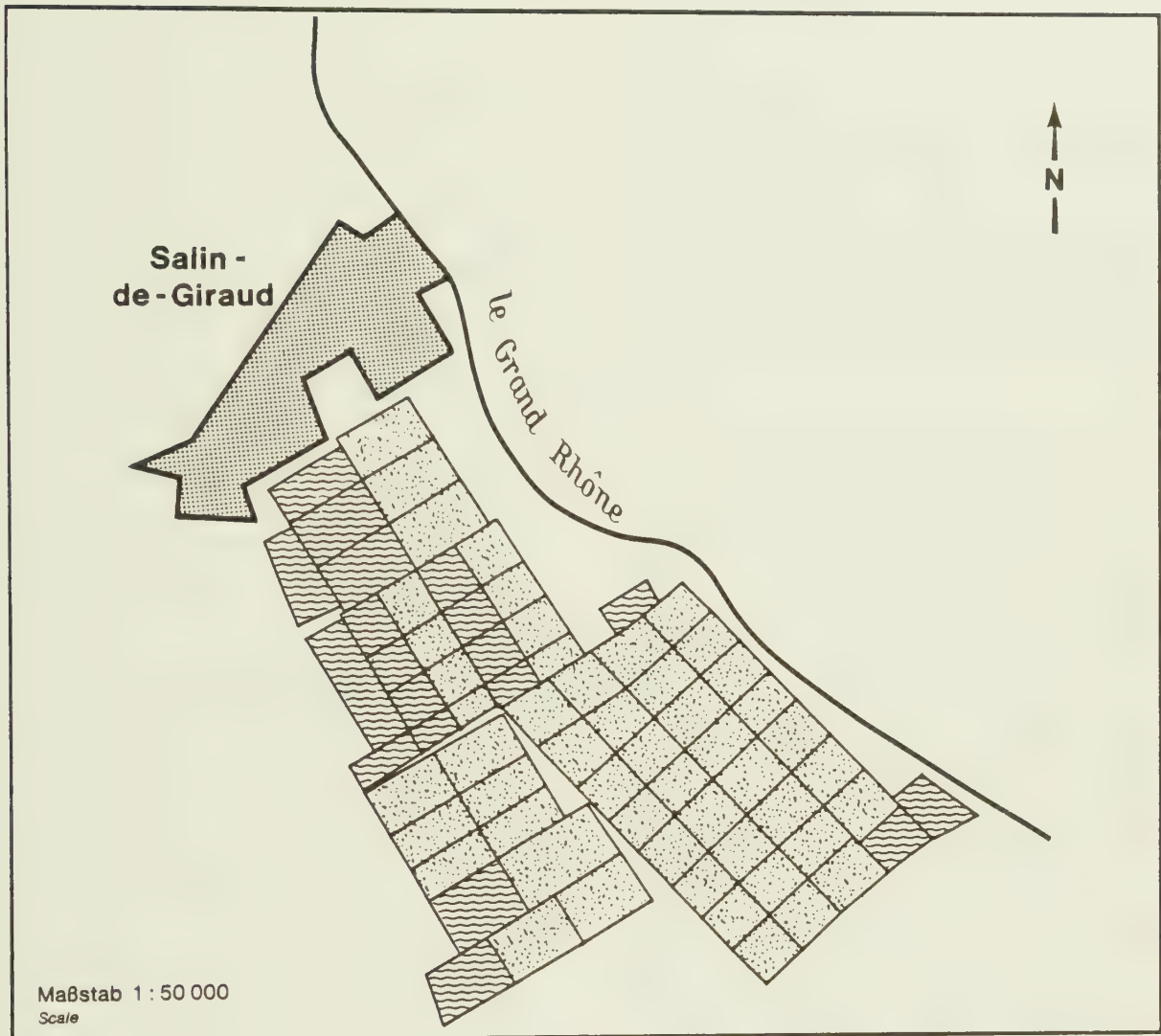


Fig. 5-36: Metric-Camera-Ausschnittsvergrößerung "Salin-de-Giraud" ($m = 1 : 100\ 000$)



 Salinenbecken gefüllt
Saline Basin Flooded

 Salinenbecken leer
Saline Basin Dry

Metric - Camera - Aufnahme
0864 - 25, 05 Dec 83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-37: Gefüllte und leere Salinenbecken der Salin-de-Giraud nach der MC-Aufnahme 01-0864-25

5.8 Erfassung von Wasserbauwerken

5.8.1 Kartierungstests

5.8.1.1 Kartierungstest I (Große Kanäle)

Der Canal de Navigation du Rhône à Fos-sur-Mer zweigt linksseitig von der Rhône bei Salin-de-Giraud ab und führt ca. 9 km bis zum Canal d'Arles à Port-de-Bouc, der wiederum in der Zone industrielle de Fos in das Hafenbecken Darse n° 1 mündet. Dieser Schiffahrtskanal stellt eine neue Verbindung zwischen der unteren Grand Rhône und dem Industrie-Erweiterungsgebiet von Marseille dar (→ MC-Vergrößerung Fig. 5-34).

Die Abmessungen in Fig. 5-38 (Kanalquerschnitt) wurden bei eigener Bodenaufnahme gewonnen. Ihnen sind die Abmessungen und Reflektionswerte gegenübergestellt, die per Meßlupe aus MC-Vergrößerungen entnommen wurden. Alle Maße sind in den Maßstab 1 : 1 500 umgesetzt.

Den auf Meeresspiegelniveau liegenden Quellerflächen der ehemaligen Salinenbecken bei Punkt A des Querschnittes folgt ein aus Schotter und Sand aufgeschütteter heller Schauweg. Die beiden Kanalufer sind jeweils mit einer Steinschüttung befestigt. Die Blöcke haben einen Durchmesser von 1 bis 2 m. Dem nördlichen Schauweg folgt auf ganzer Kanallänge der 8.4 m hohe und 36 m an der Basis breite kiesige Kanalaushub. Ein unbefestigter Bedienungsweg schließt die Kanalanlage ab. Es folgt ein Entwässerungskanal und zeitweilig geflutetes Weideland. (Dies ist der Endpunkt des Profils zur Salzwasser - Süßwassergrenze in Kap. 5.6.)

Der südliche Schauweg und die Steinschüttung mit insgesamt 14 m Breite sind eindeutig als heller Streifen erkennbar, jedoch auf 17.2 m leicht überstrahlt.

Die 100 m breite Wasserfläche wird fast maßrichtig als dunkle Zone abgebildet. Das stark reflektierende Material des nördlichen Kanalufers wird durch einen hellen und einen dunklen Streifen abgebildet.

In Fig. 5-39 ist dieses Problem als Detailquerschnitt dargestellt. Bei einer Sonnenhöhe von 15° und einer Höhe von 8.4 m des schattenwerfenden Objekts (Kanalaushub) berechnet sich die Schattenlänge nach

$$\tan \alpha = \frac{\text{Dammhöhe}}{\text{Bodenschatten}}$$

zu 31.35 m. Der dunkle Streifen im MC-Bild entspricht 29.7 m in der Natur.

Aus der Gegenüberstellung der Maße von Bodenaufnahme und MC-Bild ergibt sich, daß die Abbildungsgenauigkeit von großen Kanälen im Metric-Camera-Bild sehr hoch ist, wenn die Kanäle sich kontrastreich von ihrer Umgebung abheben. Bei einem geeigneteren Aufnahmezeitpunkt des MC-Bildes wäre die Sonnenhöhe größer, so daß keine Fehlinterpretation aufgrund des Schattenwurfs aufträte.

5.8.1.2 Kartierungstest II (Schleusen)

Der Schiffahrtskanal du Rhône à Fos-sur-Mer (siehe vorhergehender Abschnitt) wird rhôneseits mit einer Einkammerschleuse abgeschlossen (→ Fig. 5-40). Aus der MC-Ausschnittsvergrößerung (→ Fig. 5-34) sind die Abmessungen der Kammer mit 18 m x 180 m fehlerfrei zu entnehmen.

Die Abzweigung des Canal des Capettes vom Canal du Rhône à Sète (6 km südlich von Vauvert) ist mit einem Broome-Schütz in 2 x 5 Segmenten und einem Bohlentor abgeschlossen (→ Fig. 5-41). In der MC-Vergrößerung 1 : 100 000 (→ Fig. 6-) ist eindeutig die Abtrennung zwischen den beiden Kanälen zu erkennen, jedoch keine Konstruktionsdetails des Wasserbauwerks.

Das Zugsegmentwehr bei St. Gilles mit einer Breite von 15 m und einer Längserstreckung einschließlich Brücke von 16.5 m (Messungen am Objekt) ist trotz des Kontrastes zwischen dem Wehr und dem Wasser des Canal Bas-Rhône - Languedoc nur zu lokalisieren, aber nicht mehr ohne Geländekenntnis zu kartieren (→ Fig. 5-42).

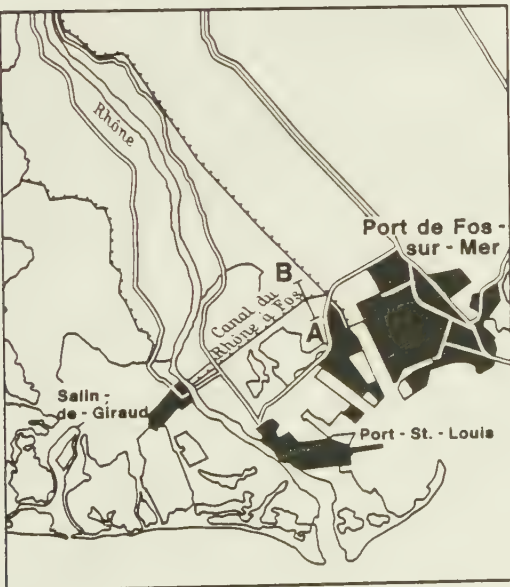
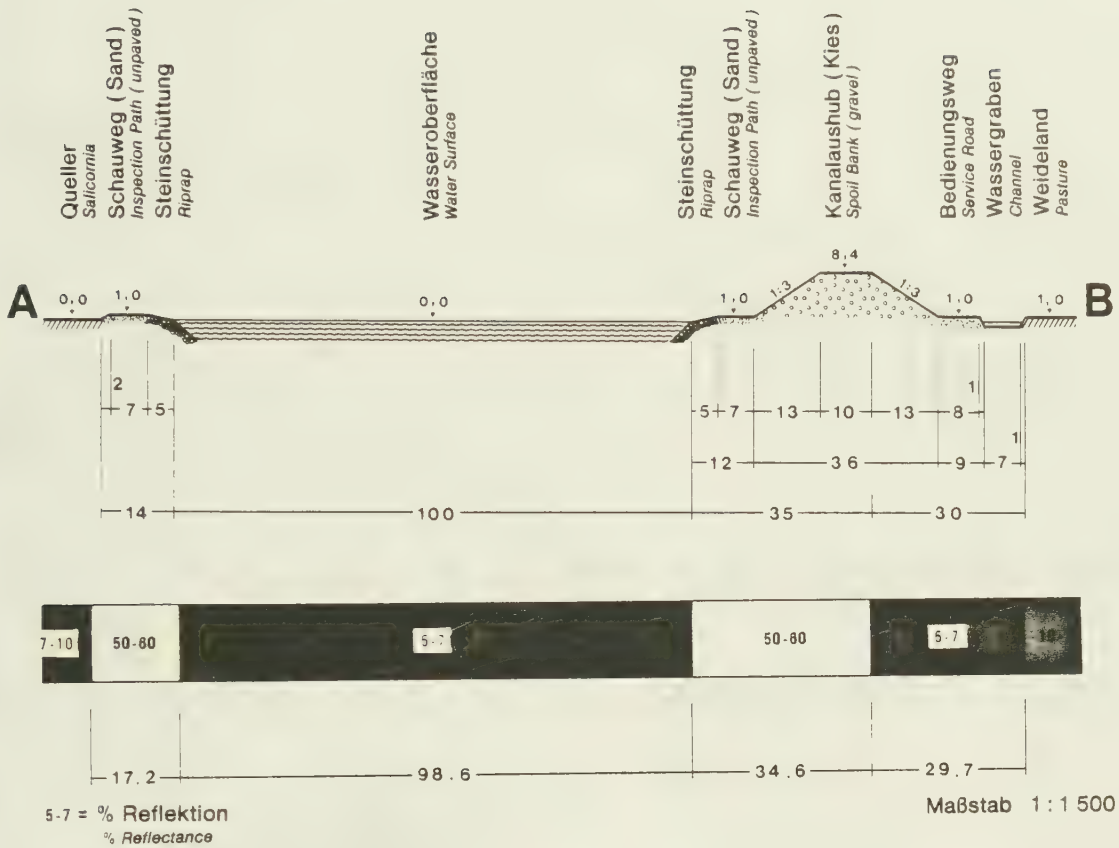
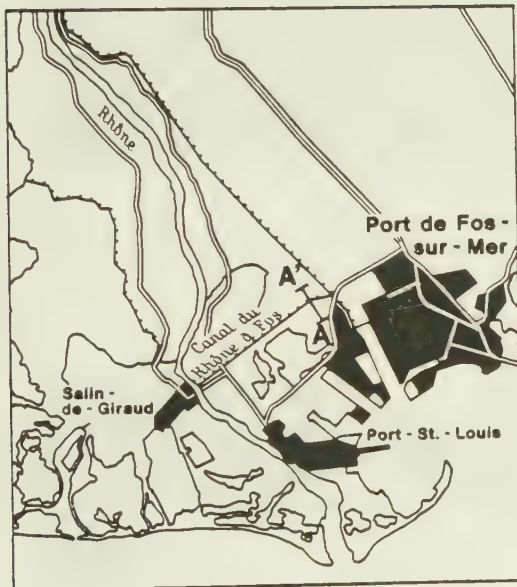
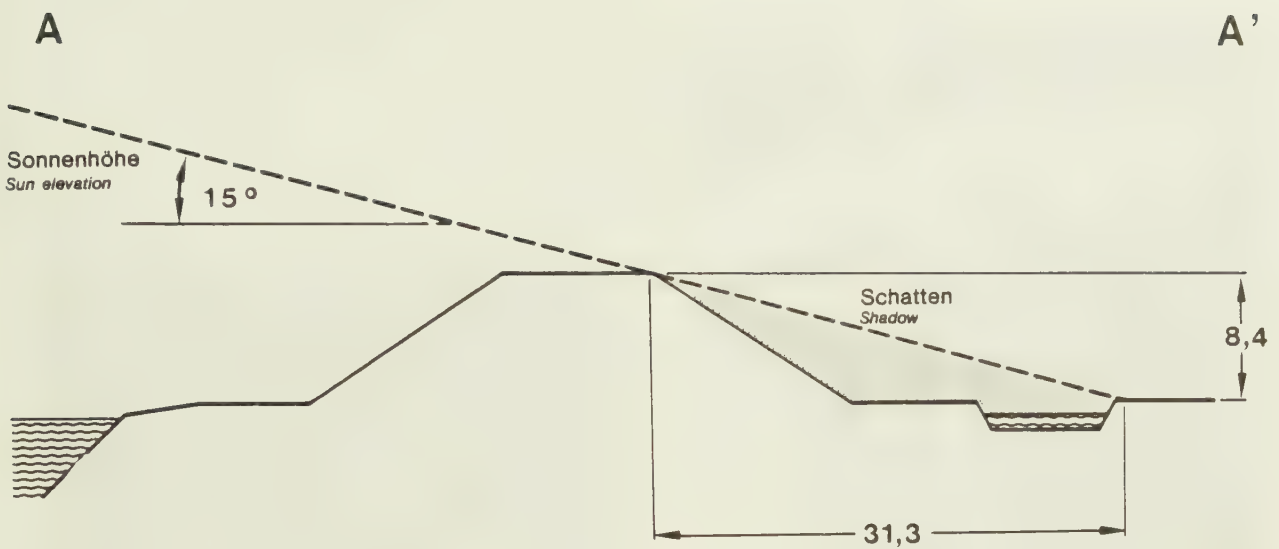


Fig. 5-38: Querschnitt durch den Canal de Navigation du Rhône à Fos-sur-Mer



Schatten aufgrund niedriger Sonnenhöhe *Shadow because of Low Sun Elevation*

Detail - Querschnitt A - A'
Cross Section of Detail

Maßstab 1:500
Scale

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-39: Detail-Querschnitt durch den Canal de Navigation du Rhône à Fos-sur-Mer

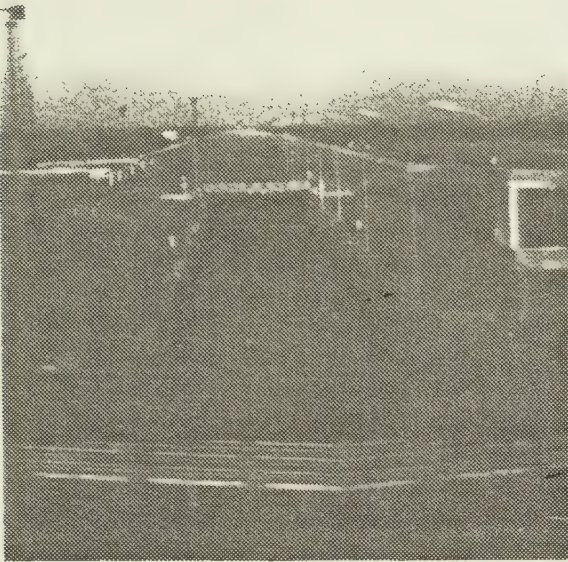


Fig. 5-40: Schiffahrtsschleuse am Canal de
Navigation du Rhône à Fos-sur-Mer
(08 Dec 83, 15-40 GMT)

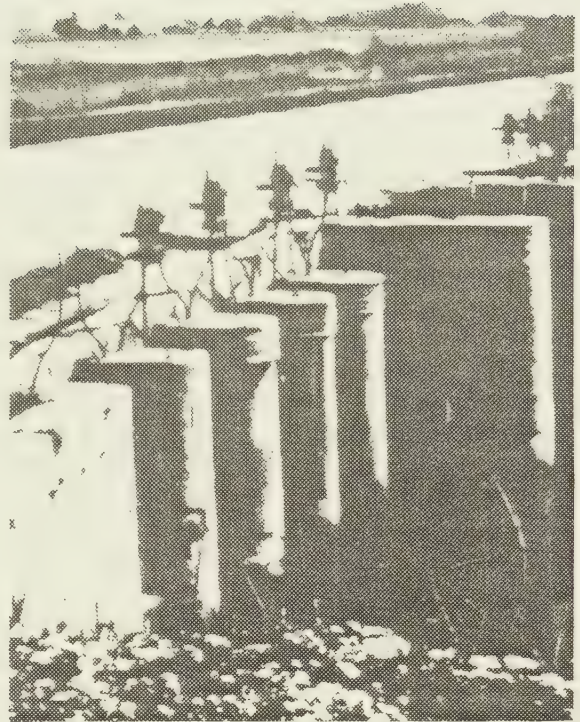


Fig. 5-41: Broome-Schütz am Canal des Capettes
(30 Apr 83, 10-00 GMT)

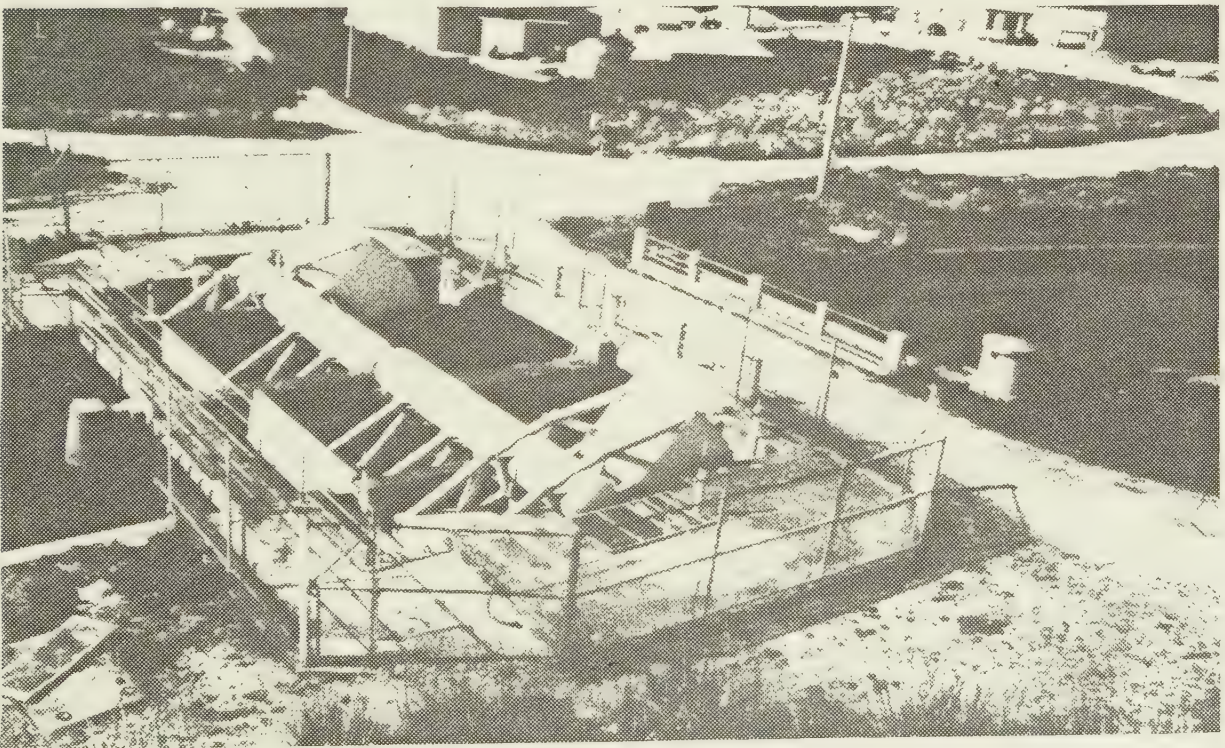


Fig. 5-42: Zugsegmentwehr bei St. Gilles
(22 Apr 84, 10-15 GMT)

5.8.1.3 Kartierungstest III (Becken-Verschlüsse)

Der Canal du Japon ou Bras de Fer, ein rechtsseitiger Altarm der Grand Rhône, der bei Salin-de-Giraud abzweigt, mündet in die "Vieux Rhône", ein Teil der Lagunenzzone. Der Beckenverschluß der Vieux Rhône gegen den Altarm ist in Fig. 5-43 im Maßstab 1 : 10 000 dargestellt. Dem vergrößerten Ausschnitt der topographischen Karte 1 : 25 000 steht der entsprechende ebenfalls vergrößerte Ausschnitt eines Luftbildes ($m = 1 : 33\,000$) sowie die MC-Ausschnittsvergrößerung gegenüber.

Die Struktur der Gesamtanlage mit Mittelbecken ist deutlich zu erkennen. Auch sind die Dämme im MC-Bild gut abgrenzbar, da sie sich aufgrund ihrer hellen Schotterauflage von ihrer Umgebung stark abheben.

Der Informationsgehalt des MC-Bildes ist höher als der der topographischen Karte, erreicht aber nicht die Präzision des Luftbildes.

Aufgrund des hohen Kontrastes zwischen Land und Wasser (→ auch Fig. 5-44) ist eine sehr gute Abbildungsgenauigkeit der Beckenverschlüsse mit Zwischenbecken gegeben.

5.8.1.4 Kartierungstest IV (Be- und Entwässerungsbauwerke)

Entscheidend für die Effektivität eines Wasserbauprojektes mit Be- und Entwässerungsanlagen sind neben den großen Kanälen die Verteileranlagen für das Bewässerungswasser. Soll also mit einer Fernerkundungsaufnahme die Struktur einer Bewässerungslandschaft erfaßt werden, so wäre es notwendig, daß diese Anlagen aus der Fernerkundungsaufnahme kartiert werden könnten.

Der in der terrestrischen Photographie vom 10. April 1984 abgebildete Ableitungsverteiler erster Ordnung mit Schütz für konstanten Oberwasserstand (→ Fig. 5-45) ist in der MC-Aufnahme vom 05. Dezember 1983 sehr gut zu erkennen. Da die bauliche Anlage nur die Ausmaße von 5 m x 20 m hat, muß angenommen werden, daß der Kanal mit dem Ableitungsverteiler zum MC-Aufnahmezeitpunkt leer war und somit der helle Beton den Kontrast zur Umgebung herstellte.

Der Verteiler an einem Sekundärkanal mit einseitigem Schützenregulierschluß

(→ Fig. 5-46) ist nicht im MC-Bild zu lokalisieren. Der niedrige Graben ist teilweise von der Vegetation überwachsen. Es fehlt der Kontrast.

Der Tertiärkanal in Fig. 5-47 ist nur 2 m breit. Da er aber offensichtlich zum MC-Aufnahmezeitpunkt leer war, bildete der helle Beton einen starken Kontrast zur Umgebung. Der Tertiärkanal ist im MC-Bild kartierbar. Das Verteilerbauwerk ist allerdings nicht einmal anhand des Verlaufs der Bewässerungsanlagen oder der Feldformen lokalisierbar.

Das 10 m x 12 m große Drainage-Pumpenhaus (→ Fig. 5-48) ist mit lehmfarbenen dunklen Dachziegeln gedeckt. Das Haus hebt sich nicht von seiner Umgebung ab.

Der im März 1984 gezogene Graben in Fig. 5-49 wäre sicherlich deutlich in der MC-Aufnahme aufgrund des hellen Grabenaushubs abgebildet worden. Die gesamte Breite beträgt 5 m.

5.8.2 Ergebnisse

- Große Kanäle, große Wasserbauwerke und wasserbauliche Anlagen werden sehr präzise abgebildet. Sie können in ihren Dimensionen kartiert werden. Darüber hinaus läßt sich die Funktion der Anlage bestimmen.
- Ist das Objekt kleiner als ca. 20 m x 20 m, so ist es zwar bei geeignetem Kontrast lokalisierbar, aber nicht mehr kartierbar. Der Unterschied besteht darin, daß man für das Kartieren nicht auf die Kenntnis der Existenz des Objekts am bestimmten Ort angewiesen sein darf.
- Gräben und sonstige Bauwerke des landwirtschaftlichen Wasserbaus sind selbst unter 5 m x 5 m Objektgröße manchmal lokalisierbar oder Gräben sogar kartierbar. Dies hängt ausschließlich vom Kontrast zur Umgebung ab.
- Bezüglich der Kartierbarkeit von Wasserbauwerken kann festgestellt werden, daß aus Metric-Camera-Aufnahmen bei geeignetem Kontrast Informationen bis zum Maßstab 1 : 20 000 extrahiert werden können. Bei fehlendem Kontrast ist im Extremfall der Maßstab 1 : 100 000 nicht zu erreichen.
- Wasserbauwerke können für die Planungsphasen
 - Project Finding hinreichend genau,
 - für Feasibility-Studie und
 - Monitoring nur noch bei gutem Kontrast und
 - als Grundlage für endgültige Planungen überhaupt nicht aus MC-Aufnahmen erfaßt werden.

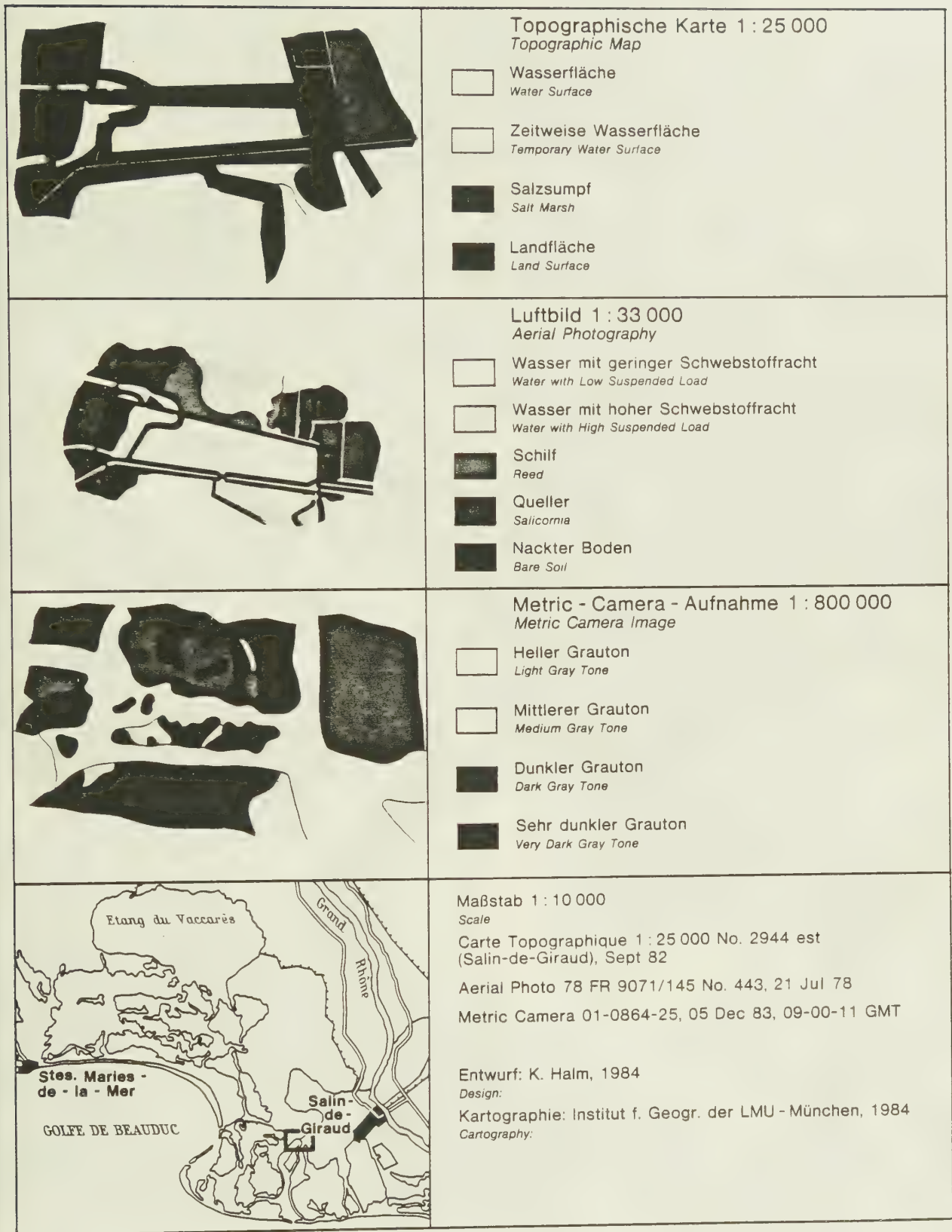


Fig. 5-43: Becken-Verschlüsse an der Vieux Rhône



g. 5-44: Metric-Camera-Ausschnittsvergrößerung "Vieux Rhône"

($m = 1 : 50\,000$)

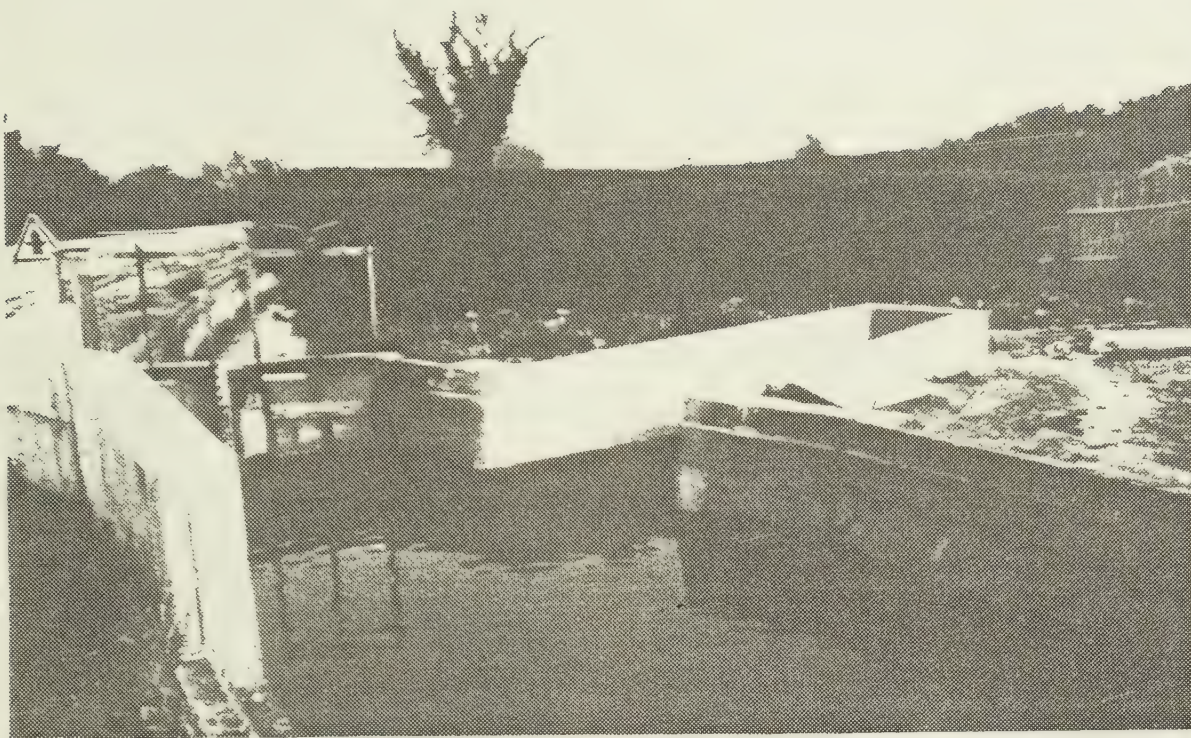


Fig. 5-45: Ableitungsverteiler an der St. de Pompage de la Triquette
(10 Apr 84, 08-50 GMT)

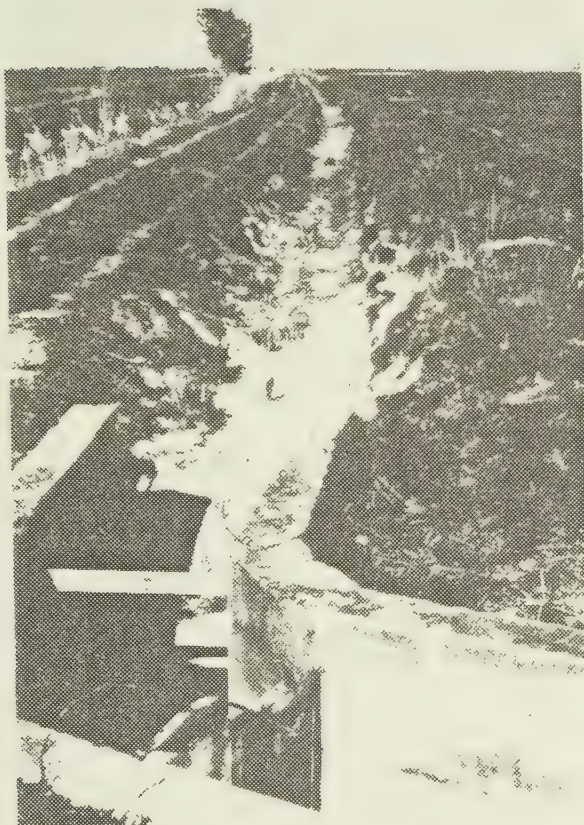


Fig. 5-46: Verteiler am Sekundärkanal
bei Mas d'Eysselle-Gidde
(19 Apr 84, 17-30 GMT)

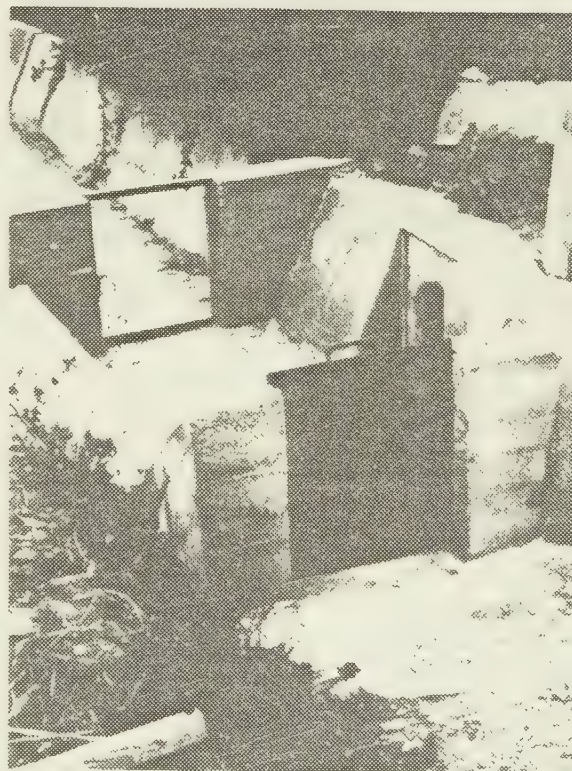


Fig. 5-47: Verteilerauslaßbauwerk am
Tertiärkanal bei Grand Manusclat
(10 Apr 84, 09-35 GMT)

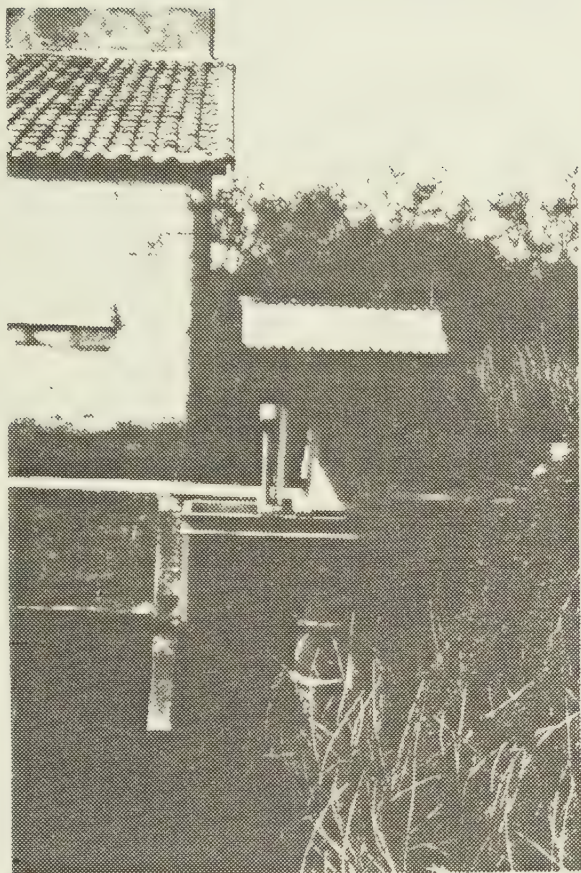


Fig. 5-48: Drainage-Pumpenhaus bei le Paradies
(02 May 83, 11-00 GMT)



Fig. 5-49: Frisch gezogener Graben bei Mas d'Agon
(11 Apr 84, 10-15 GMT)

5.9 Infrastruktur und Siedlungsverteilung

5.9.1 Kartierungstests

5.9.1.1 Kartierungstest I (Straßen)

Auf der Basis der Kartierung aller linearen Elemente der Metric-Camera-Aufnahme (→ Fig. 5-1) wurde nach der Gewässernetz-Extraktion (→ Kap. 5.2) untersucht, inwieweit es möglich ist, Straßen und Wege aus der MC-Aufnahme zu kartieren.

Die rein visuelle Kartierung erfolgte auf kontrastreichen Vergrößerungen im Maßstab 1 : 50 000 (Papier) und 1 : 100 000 (Transparent). Da keine flächendeckende Geländeaufnahme der Straßen und Wege erfolgte, sondern nur einzelne Objekte erfaßt wurden (Kreuzungen, einzelne Straßenbreiten ...), wird in Fig. 5-51 das Straßennetz nach den topographischen Karten 1 : 50 000 wiedergegeben.

Die Klassifizierung der Straßenbreite beruht auf Informationen aus den Karten, die allerdings gegebenenfalls aufgrund der Geländemessungen abgeändert wurden.

Diese Karte enthält:

231.3 km Hauptstraßen ($b > 10$ m)
255.4 km Nebenstraßen ($b = 6-8$ m)
316.8 km unbef. Wege ($b = 4-7$ m)

Vergleicht man die MC-Kartierungen mit dieser Karte, so ergibt sich, daß

113.9 km Hauptstraßen (= 49,2 %)
88.3 km Nebenstraßen (= 34.6 %)
97.0 km unbef. Wege (= 30.6 %)

als Straßen oder Wege richtig kartiert wurden. Eine Klassifikation konnte nicht vorgenommen werden.

Das schon mehrfach angesprochene Problem der Signalfülle der linearen Elemente im MC-Bild konnte auch hinsichtlich der Straßen und Wege nicht gelöst werden. Es gibt keine Möglichkeit, den linearen Elementen eindeutige Informationen zu entnehmen. Auch können Straßen, von denen man die Lage genau kennt, nicht immer im MC-Bild lokalisiert werden (z. B. → Fig. 5-50).

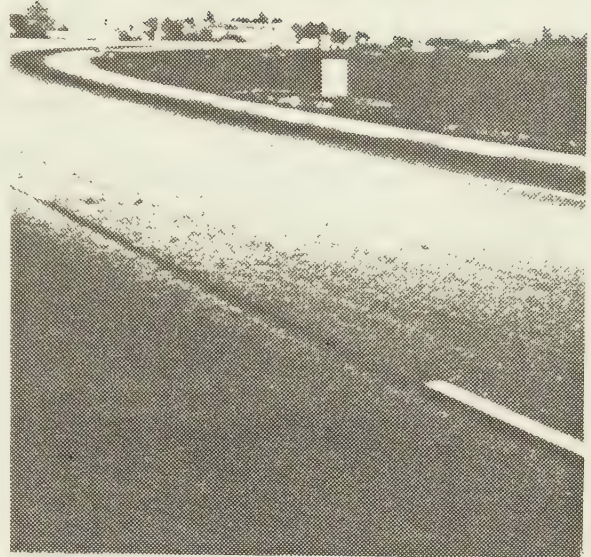


Fig. 5-50: D 979 bei Jasse d'Isnard
(05 Dec 83, 10-15 GMT)

5.9.1.2 Kartierungstest II (Brücken)

Im Testgebiet von St. Gilles wurde die Möglichkeit untersucht, Brücken zu kartieren, die über mehr als 20 m breite Kanäle führen.

Als Arbeitsgrundlage dienten vorwiegend die Transparent-Vergrößerungen im Maßstab 1 : 100 000. In Fig. 5-52 sind drei Kategorien eingezeichnet:

- Brücken, die bei der visuellen Kartierung ohne Zuhilfenahme von Karten richtig identifiziert wurden - 16,
- Brücken, die in den topographischen Karten 1 : 25 000 enthalten sind, aber bei der MC-Kartierung nicht identifiziert wurden - 12,
- vermeintliche Brücken, das heißt, es wurden bei der MC-Kartierung Brücken vermutet, die es laut topographischer Kartengar nicht gibt - 10.

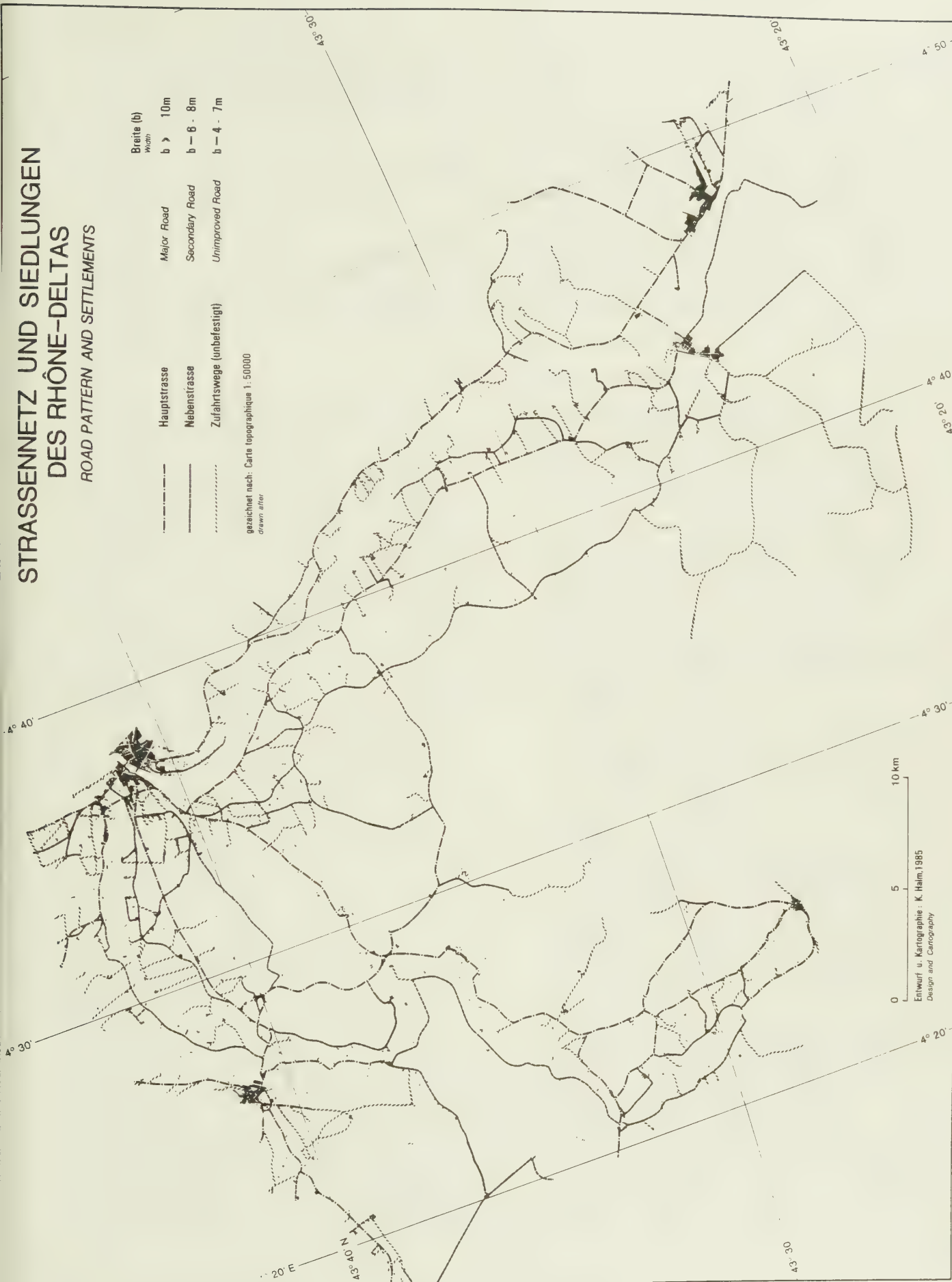


Fig. 5-51: Straßennetz und Siedlungen des Rhône-Deltas nach den topographischen Karten 1 : 50 000

In diesen Fällen wurden links und rechts des Kanals endende Wassergräben oder Feldwege oder auch eine Straßenunterführung mit Brücken verwechselt.

	b	5	10	15	20	m
richtig identifiziert	6	4	2	4		
nicht identifiziert	4	4	2	2		

Für die richtige Identifikation ist nicht die Breite der Brücke entscheidend (auch nicht der Winkel zwischen Brückenrichtung und Azimut), sondern wiederum ausschließlich der Kontrast.

5.9.1.3 Kartierungstest III (Siedlungen)

Die MC-Ausschnittsvergrößerung im Maßstab 1 : 50 000 (→ Fig. 5-54) zeigt die Stadt Arles. Aufgrund von Struktur und Schattenwurf ist die Stadt in ihren Ausmaßen abgrenzbar, eine innere Differenzierung in Stadtteile oder Funktionsräume ist nicht möglich. Abgesehen von den Hauptausfallstraßen ($b > 50$ m) ist auch das Straßennetz nicht erfaßbar.

Einzelne isolierte Hofanlagen, wie sie aus der topographischen Karte 1 : 50 000 in Fig. 5-51 extrahiert sind, konnten oftmals besser kartiert werden. In Fig. 7-2 sind alle Hofanlagen enthalten, die aus dem MC-Bild kartiert werden konnten. Der Vergleich mit den Daten der Objekt-Erfassung während der Geländearbeiten zeigt, daß die Hofanlagen mit einer Mindestgröße von 40 m x 40 m zu 95 % erfaßt werden konnten. Die restlichen Hofanlagen liegen zum Beispiel in oder an einem Waldstück oder stehen unter einer Gruppe großer Bäume.

5.9.1.4 Kartierungstest IV (Hafenanlagen)

Der Golfe de Fos gehört zu der industriellen Erweiterungszone von Marseille. Der Hafen von Fos-sur-Mer befindet sich im Ausbau. Einzelne Industrieanlagen sind bereits angesiedelt. Dazwischen liegen allerdings noch große Freiflächen, und die Uferbefestigungen sind noch nicht abgeschlossen.

Im Kartierungstest (→ Fig. 5-55) wird sichtbar, daß eine Differenzierung der bebauten Flächen in hohe und niedrige Bebauung möglich ist. Anhand des Schattenwurfs

sind sogar die Öltanks der Raffinerie in Fos-sur-Mer in Lage und Anzahl zu erfassen (vgl. Fig. 2-13, MC-Ausschnittsvergrößerung).

Straßen und Eisenbahnlinien sind nur abschnittsweise und unvollständig kartierbar.

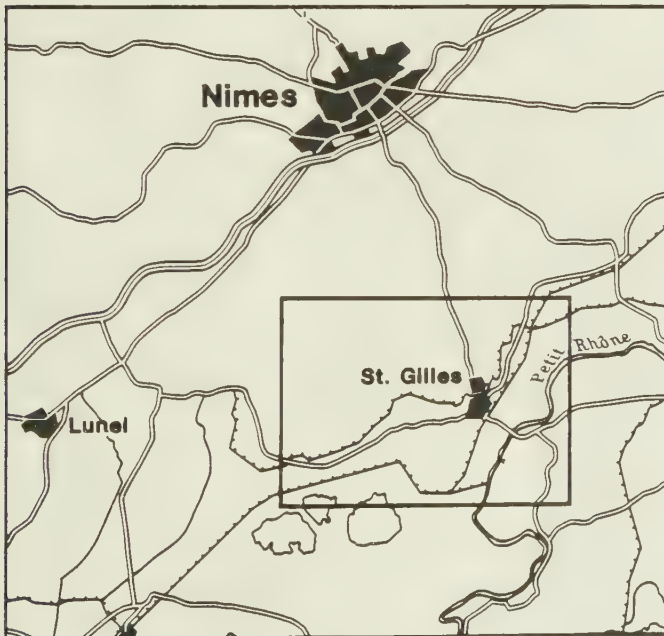
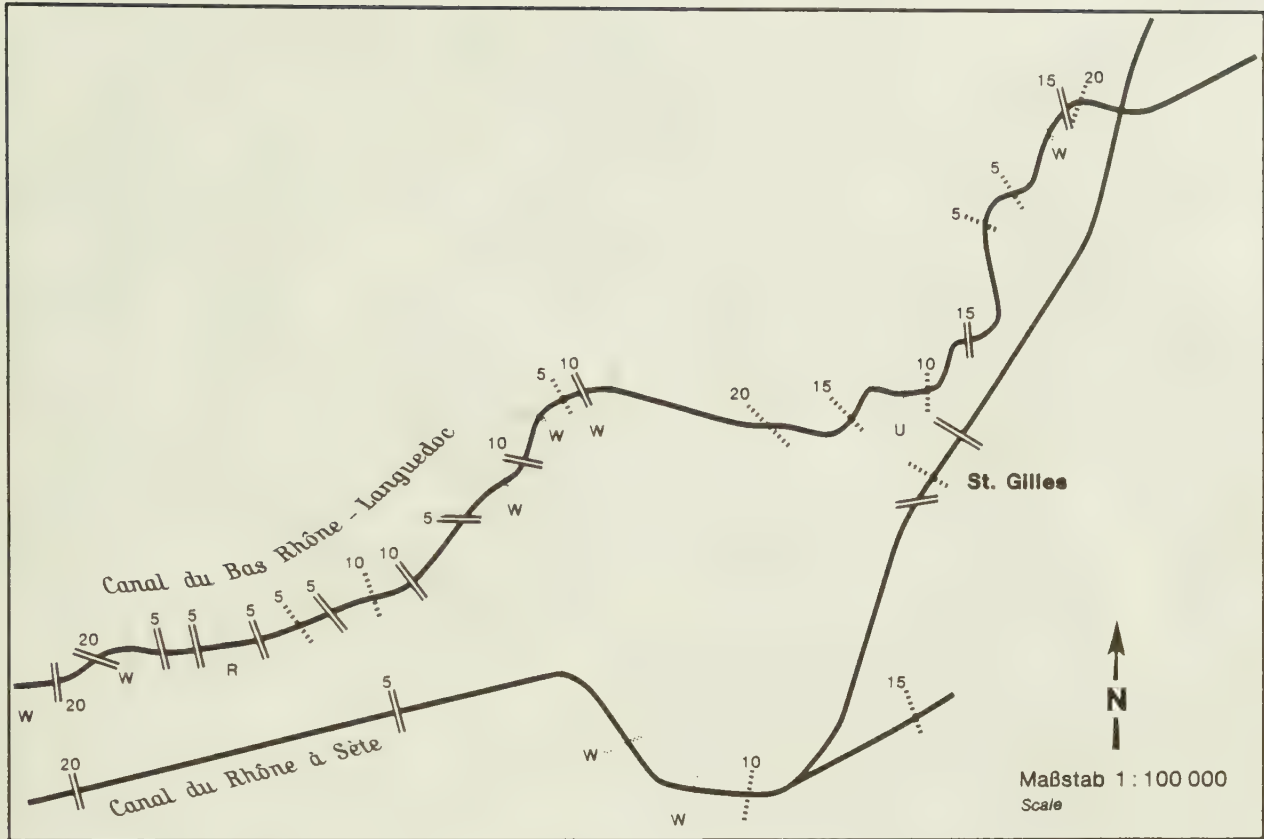
Aufgrund des hohen Kontrastes Beton - Wasser sind Pieranlagen, Hafenbecken, Bootsstege und Uferbefestigungen problemlos zu extrahieren. In Fig. 5-52 ist als Beispiel die 6.5 m breite Mole an der östlichen Hafeneinfahrt von Port-St.-Louis abgebildet. Auch sie ist im MC-Bild zu sehen.

5.9.2 Ergebnisse

- Die zuverlässige Kartierung von Straßen und Wegen ist für keinen auch noch so kleinen Maßstab möglich, da der Verlauf von vierspurigen Straßen nicht immer lückenlos zu verfolgen ist. Der Anteil der richtig kartierten Straßen liegt bei 30-50 %.
- Dies mag für Gebiete, die eine übersichtlichere, einfachere Oberflächengestalt haben, anders sein (z. B. Schneisen in großen Waldarealen, Bergstraßen ...).
- Brücken über breite Kanäle sind im Testgebiet nicht zuverlässig kartierbar. Breite und Richtung der Brücken spielen dabei keine Rolle.
- Es sind alle Dörfer und 95 % der Hofanlagen mit einer Größe von über 40 m x 40 m Grundfläche in diesem Testgebiet nach Lage und Ausdehnung kartierbar. Eine innere Differenzierung (auch von Städten) ist nicht möglich.
- Eine Differenzierung in die Klassen "Niedrige Bebauung" und "Hohe Bebauung" ist in Bezug auf ausgedehnte Industriegebiete möglich.
- Hafenanlagen und Uferbefestigungen bilden guten Kontrast zum dunklen Wasser. Sie werden im MC-Bild einwandfrei abgebildet.

Zur Kartierung von Straßen und Siedlungen in Gebieten, deren Oberflächenform variationsärmer ist als das Rhône-Delta, scheinen die MC-Aufnahmen für die Planungsphasen

- Project Finding zufriedenstellend,
- Feasibility-Studie und
- Monitoring bei bestimmten Fragestellungen sehr nutzbringend einsetzbar zu sein.



- Kanal (Breite > 20 m)
Canal (Width > 20 m)
- == Brücke richtig identifiziert
Bridge Correctly Identified
- Brücke nicht identifiziert
Bridge not Identified
- Brücke falsch identifiziert
Bridge Falsely Identified
- W In Wirklichkeit Wassergraben,
rechts und links des Kanal-Ufers endend
Originally Water Channel,
Ending at the Right and Left Bank of the Canal
- R In Wirklichkeit Feldweg,
rechts und links des Kanal-Ufers endend
Originally Gravel Road,
Ending at the Right and Left Bank of the Canal
- U In Wirklichkeit Straßen - Unterführung
Originally Underpass of a Road

Metric - Camera - Aufnahme 0864 - 25, 05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

gez. nach: Carte Topographique 1:25.000
Drawn after: 2843 est, 2943 ouest

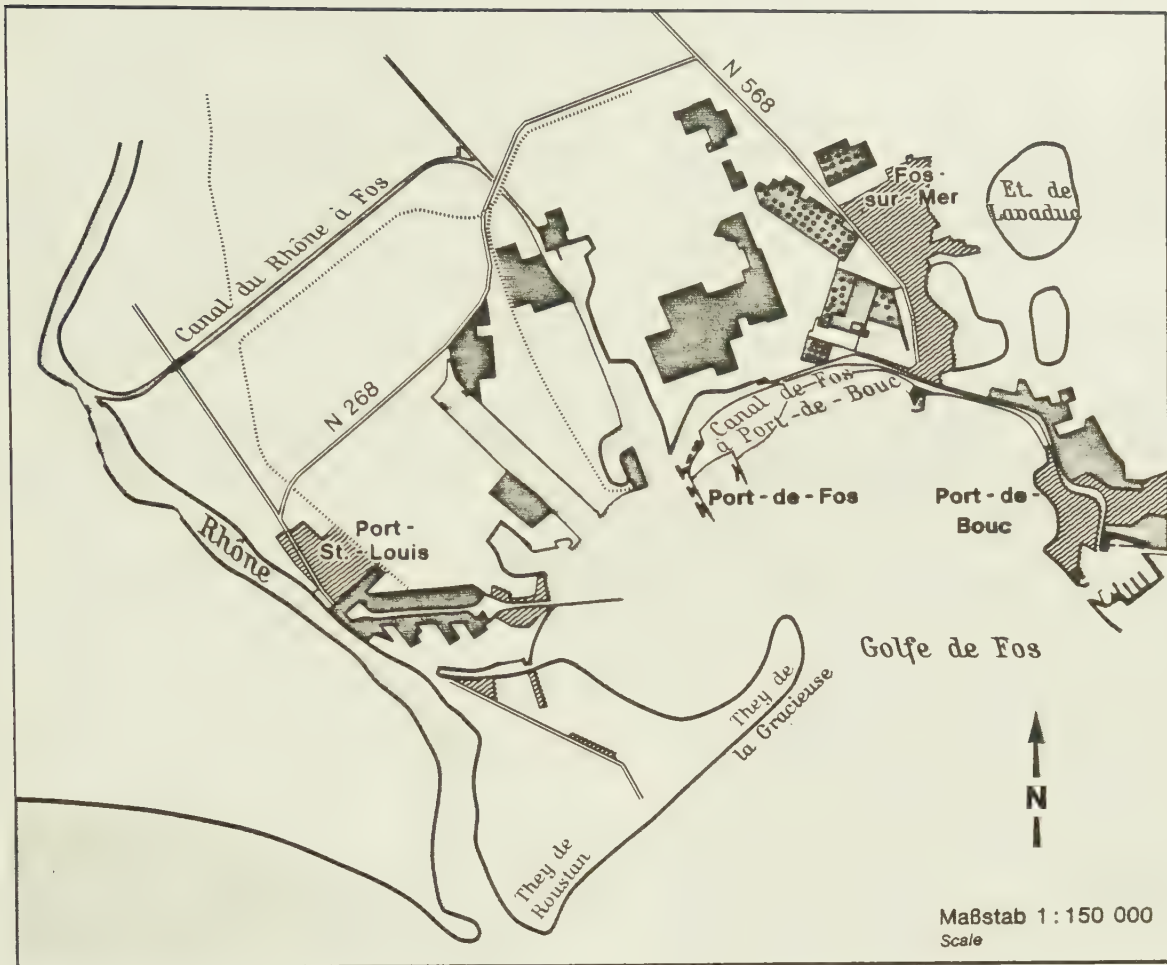
Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-53: Identifizierbarkeit von Brücken im MC-Ausschnitt "St. Gilles"



Fig. 5-54: MC-Ausschnittsvergrößerung "Arles" ($m = 1 : 50\,000$)



- | | | | |
|--|--|--|--|
| | Niedrige Gebäude (meist Siedlung)
Low Buildings (Mostly Settlements) | | Gewässer
Water Surface |
| | Hohe Gebäude (meist Industrieanlagen)
High Buildings (Mostly Industrial Structures) | | Straße
Road |
| | Tanklager
Fuel Tanks | | Bahnanlage
Railroad Embankment |
| | Schleuse
Lock | | Ufer mit Ufermauer
Bank Protection with Bunding |
| | Pier
Pier | | Unbefestigtes Ufer
Natural Bank |

Metric - Camera - Aufnahme 0864 - 25, 05.12.83, 09 - 00 - 11 GMT
Metric Camera Image

Entwurf: K. Halm, 1984
Design:

Kartographie: Institut f. Geogr. der LMU - München, 1984
Cartography:

Fig. 5-55: Differenzierende Kartierung von Hafenanlagen von Fos-sur-Mer

6 WEITERE MÖGLICHKEITEN DURCH PHOTOGRAPHISCHE BILDVERARBEITUNG

Die schwarzweißen Metric-Camera-Aufnahmen entstanden mit dem Kodak Double-X Aerographic 2405 - Film. Sein Aufnahmespektrum reicht von 0.40 bis 0.73 μm . Zur Unterdrückung des blauen Dunstschleiers wurde bei den Aufnahmen ein Orangefilter mit 0.535 μm eingesetzt. Das aufgenommene Spektrum reicht also von gelbgrün über gelb und orange bis rot (vgl. Fig. 2-6).

Die höchsten Reflektionswerte von wichtigen Geländeoberflächen sind (in Klammern gesamter spektraler Reflektionsbereich):

Wasser	0.54 μm	(0.40 ... 0.79 μm)
trockener Sand	1.30 μm	(0.26 ... > 2.80 μm)
feuchter Sand	1.70 μm	(0.38 ... > 2.80 μm)
Weizen	1.30 μm	(0.41 ... > 2.80 μm)
Mais	0.79 μm	(0.41 ... 2.65 μm)
Asphalt	0.85 μm	(0.35 ... > 1.00 μm)

Fig. 6-1: Reflektionswerte von wichtigen Geländeoberflächen

Aus dieser Gegenüberstellung wird deutlich, daß das Aufnahmespektrum des beim Metric-Camera-Experiment verwendeten Schwarzweißfilmes nicht ausreicht, alle signifikanten Spektralbereiche zu erfassen.

Es liegt also nahe (abgesehen von der Verwendung eines Infrarotfilmes), an die Erweiterung des Spektralbereichs durch die Kombination mit anderen Daten zu denken.

Als Beispiel sei hier die Kombinationsmöglichkeit mit Landsat-Daten demonstriert.

Die Daten der verwendeten Szene:

Data of the Mission:	Landsat-2
Altitude:	915 km
Inclination:	99.09°
Data Acquisition System:	Multispectral Scanner (MSS)
Date:	02 Jun 78
Data Acquisition Time:	10-03 GMT
Scene No.:	212/30
Approximate Center:	42°52'N 03°46'W

Die Szene wurde von Dr. R. Haydn und H. Kaufmann (Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung sowie Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Ludwig-Maximilians-Universität, München) digi-

tal verarbeitet und geometrisch entzerrt. Im Photolabor des Instituts für Geographie (V. Kraus) wurden von den ausgegebenen Negativen (51 mm x 72 mm) Ausschnittsvergrößerungen auf Papier im Maßstab 1 : 100 000 hergestellt.

Für den in dieser Arbeit beispielhaft vorzuführenden Vergleich Landsat - Metric Camera wurde das Band 6 ausgewählt. In Fig. 6-2 sind somit die Reflektionswerte des Spektralbereichs 0.70 ... 0.80 μm wiedergegeben. Es handelt sich um einen Ausschnitt des nordwestlichen Rhône-Deltas, westlich von St. Gilles.

In Fig. 6-3 ist der gleiche Ausschnitt im gleichen Maßstab der Metric-Camera-Aufnahme abgebildet.

Im zentralen Teil der Aufnahme befinden sich die drei Etangs de Scamandre, am rechten Bildrand ist die Petit Rhône zu sehen. Dem klaren, exakten Landsat-Bild steht der leicht verschwommene Eindruck der MC-Aufnahme gegenüber. Die einzelnen Pixel des Landsat-Bildes haben eine Bodenfläche von 80 m x 80 m, das heißt, daß Informationen aus dem Landsat-Bild wegen des integrierenden Nachbarschaftseffekts bei der Scanner-Aufnahme über ein kleineres Gebiet als ca. 250 m x 250 m kaum zu entnehmen sind.

Im Gegensatz dazu bietet die MC-Aufnahme präzise Linien, die die einzelnen Bildbereiche eindeutig trennen.

Die deutlichen, klaren flächenhaften Informationen eines ausgewählten Spektralbereichs des Landsat-Bildes ohne genaue räumliche Abgrenzung stehen den präzisen linienhaften Informationen ohne detaillierte flächenhafte Signale der Metric-Camera-Aufnahme gegenüber.

(Leider standen mir keine Daten des Thematic Mapper über den Raum des Rhône-Deltas zur Verfügung. Die Bodenauflösung dieses Aufnahmesystems liegt bei ca. 30 m und ist damit besser mit der der Metric-Camera-Aufnahme zu vergleichen.)

Bei der nun folgenden analogen Bildverarbeitung wurden auf photographischem Wege die beiden Bilder von Landsat-Band 6 und Metric Camera überlagert. Dabei wurde beim Positivprozeß das schwarzweiße Negativ des Metric-Camera-Ausschnittes blau eingefärbt. Bei der anschließenden Doppelbelichtung wurde das

schwarzweiße Negativ des Landsat-2 Band 6 rot eingefärbt. Dieses Produkt (Firma Reger Studios GmbH, München) auf Photopapier wurde von mir nachfolgend einmal mit einem Tageslicht-Kleindild-Diafilm (Kodak Ektachrome 100) und einmal mit einem Kunstlich-Kleindild-Diafilm (Kodak Ektachrome 50 Tungsten EPY 135-36) aufgenommen. Die davon hergestellten Papierabzüge (Firma 3F-Fachlabor Dr. Frickhinger GmbH & Co. KG, München) sind in Fig. 6-4 und Fig. 6-5 wiedergegeben. Hier ist wiederum der Maßstab 1 : 100 000 erreicht.

Die Fig. 6-4 zeigt das südöstliche Rhône-Delta in pseudoplastischer Form. Die orange leuchtenden landwirtschaftlichen Anbaugelände heben sich klar und deutlich von "niedrigeren" Sumpf- und Lagunenflächen ab. Innerhalb der südlichen Lagunenzone können die einzelnen Seen mit einer Genauigkeit von einander getrennt werden, wie sie weder in reiner MC-Kartierung noch in reiner Landsat-Kartierung erreicht werden könnte.

Leider ist es hier nicht sinnvoll, eine solche Kartierung durchzuführen, da die Metric-Camera-Aufnahme vom 05. Dezember 1983 stammt (Winterbild) und das Bild der Landsat-Szene vom 02. Juni 1978 (Sommerbild). Die Daten sind nicht vergleichbar wegen des unterschiedlichen Vegetationszustandes, des Wasserstandes, der Anbauflächen etc.

Bei Probekartierungen wurden aber Ergebnisse erreicht, die insbesondere für die landwirtschaftlichen Gebiete von entscheidender Bedeutung wären. Die Anbaugelände könnten (mit Hilfe von Eich-Kartierungen im Gelände) differenziert werden, das Bewässerungssystem könnte besser erfaßt werden.

Eine Kombination von Metric-Camera-Aufnahme und Landsat-Infrarotband würde sicherlich weitere zusätzliche Informationen erbringen.

Man beachte das deutlich als hellen Streifen hervortretende Band des Galleriewaldes der Rhône. Die Lagunenseen am linken Bildrand sind deutlich dunkler als die südöstlich davon liegenden. Der Unterschied könnte auf den Gehalt an Phytoplankton beruhen. Dies wiederum wäre eine wichtige Aussage über die Wasserqualität der Lagunenseen.

Bevor die Aufnahme mit dem Kunstlichtfilm gemacht wurde, wurde eine Folie auf die Doppelbelichtung aufgelegt, auf der die einzelnen Farbflächen durch schwarze Linien abgetrennt wurden. (→ Fig. 6-5).

In diesem Produkt der photographischen Bildverarbeitung sind weitere Differenzie-

rungsmöglichkeiten innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche und der Lagunenzone gegeben.

In Anbetracht der Qualität dieser beiden Beispiele scheint es wichtig, die Verfahren zur photographischen Bildverarbeitung systematisch weiter zu untersuchen, um weitere Informationsquellen zu erschließen. Die bereitliegenden Daten von Metric-Camera-Aufnahmen sind derart vielfältig verarbeitbar und damit auswertbar, daß noch viele Möglichkeiten des Informationsgewinnes über hydrologische Strukturen aus MC-Aufnahmen ungenutzt sind.

Über multispektrale Photographie sind bereits in den 70er Jahren eine Reihe von Arbeiten entstanden (Literaturübersichten z. B. bei WENDEROTH, YOST, KALIA and ANDERSON, 1975).

Die durch photographische Bildverarbeitung erzielten Ergebnisse zum Problem des Change Detection beschrieben für Landsat-Aufnahmen Australiens CRAPPER and HYNSON (1983).

Multispektrale Auswertungen von Landsat-Bildern sind die Grundlage der Nutzung von Scanner-Aufnahmen. Dabei ist eine Vielzahl von jüngeren Arbeiten im MANUAL OF REMOTE SENSING (1983) enthalten. Außerdem z. B. WILLIAMSON (1974); JENSEN (1973); ANDERSON, CARTER and McGINNESS (1975); SOLOMON and KLOHN (1978); COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1978); KLEMAS (1983).





Fig. 6-2: Landsat-2 (Band 6) 02 Jun 78, Ausschnittsvergrößerung "Etang de Scamandre"
(m = 1 : 100 000)

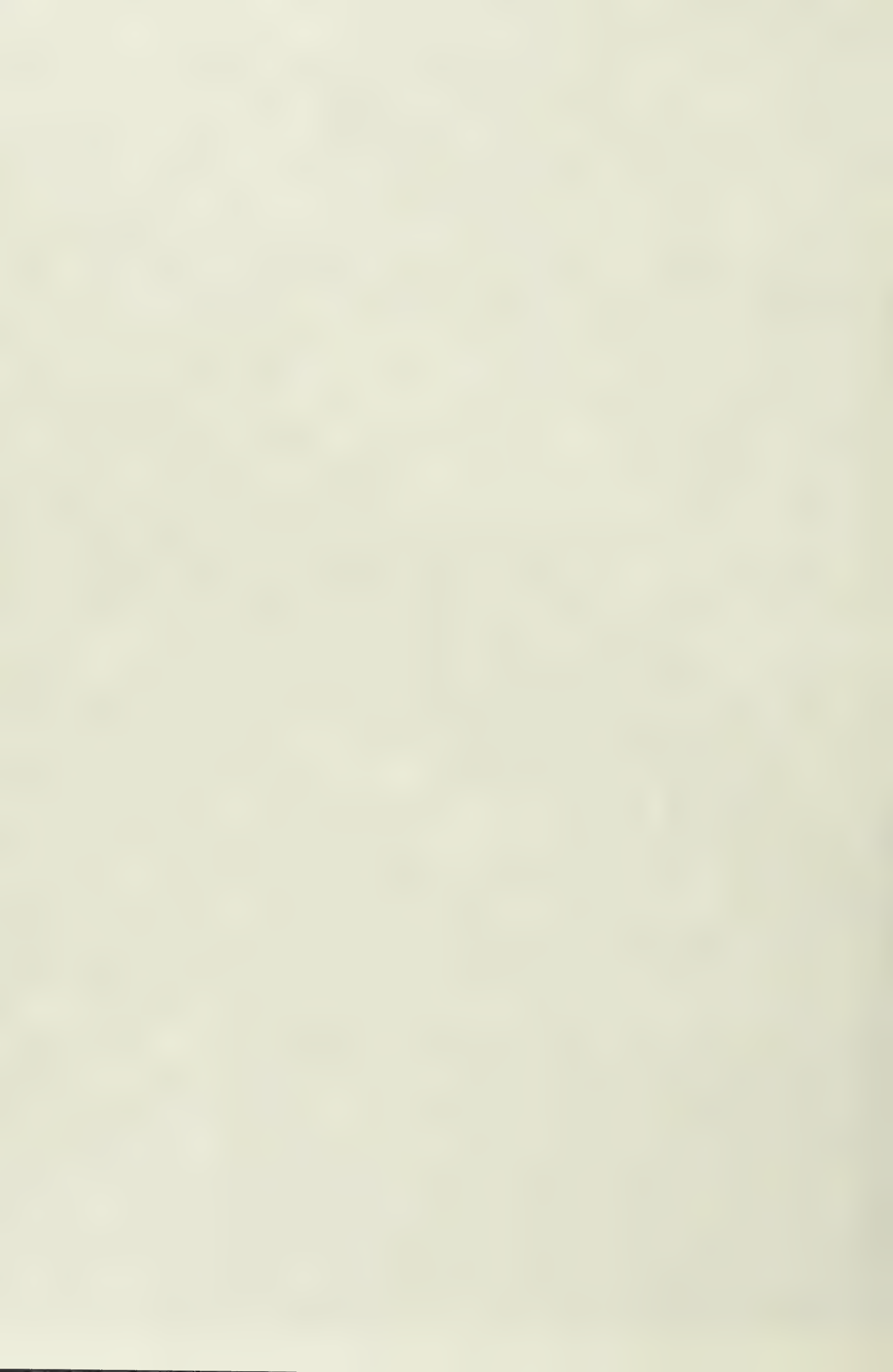




Fig. 6-3: Metric Camera, 05 Dec 83, 09-00-11 GMT, Ausschnittsvergrößerung "Etang de Scamandre"
($m = 1 : 100\,000$)

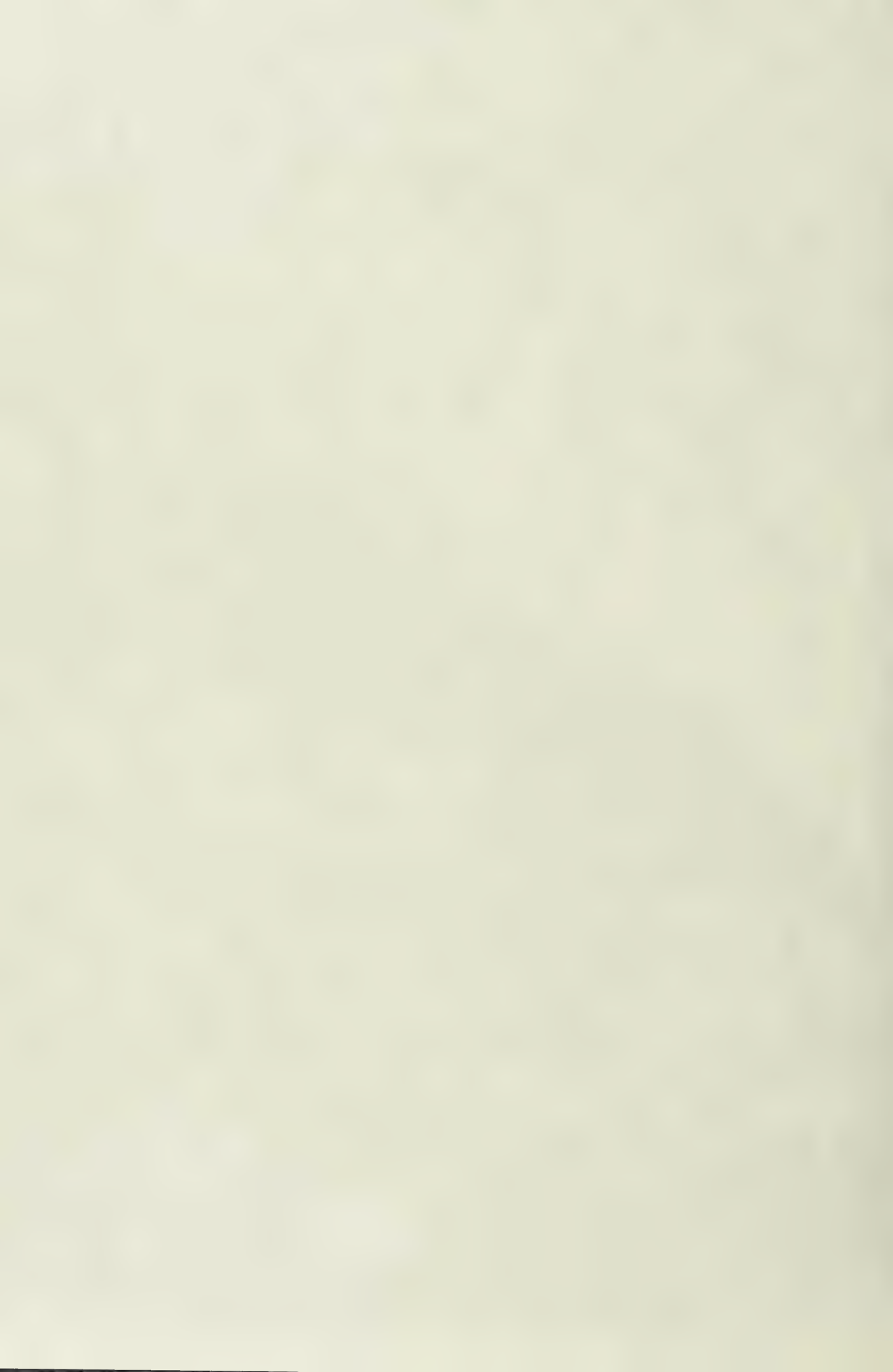




Fig. 6-4: Überlagerung Metric Camera (05 Dec 83) mit Landsat-2, Band 6 (02 Jun 78),
aufgenommen mit Tageslichtfilm

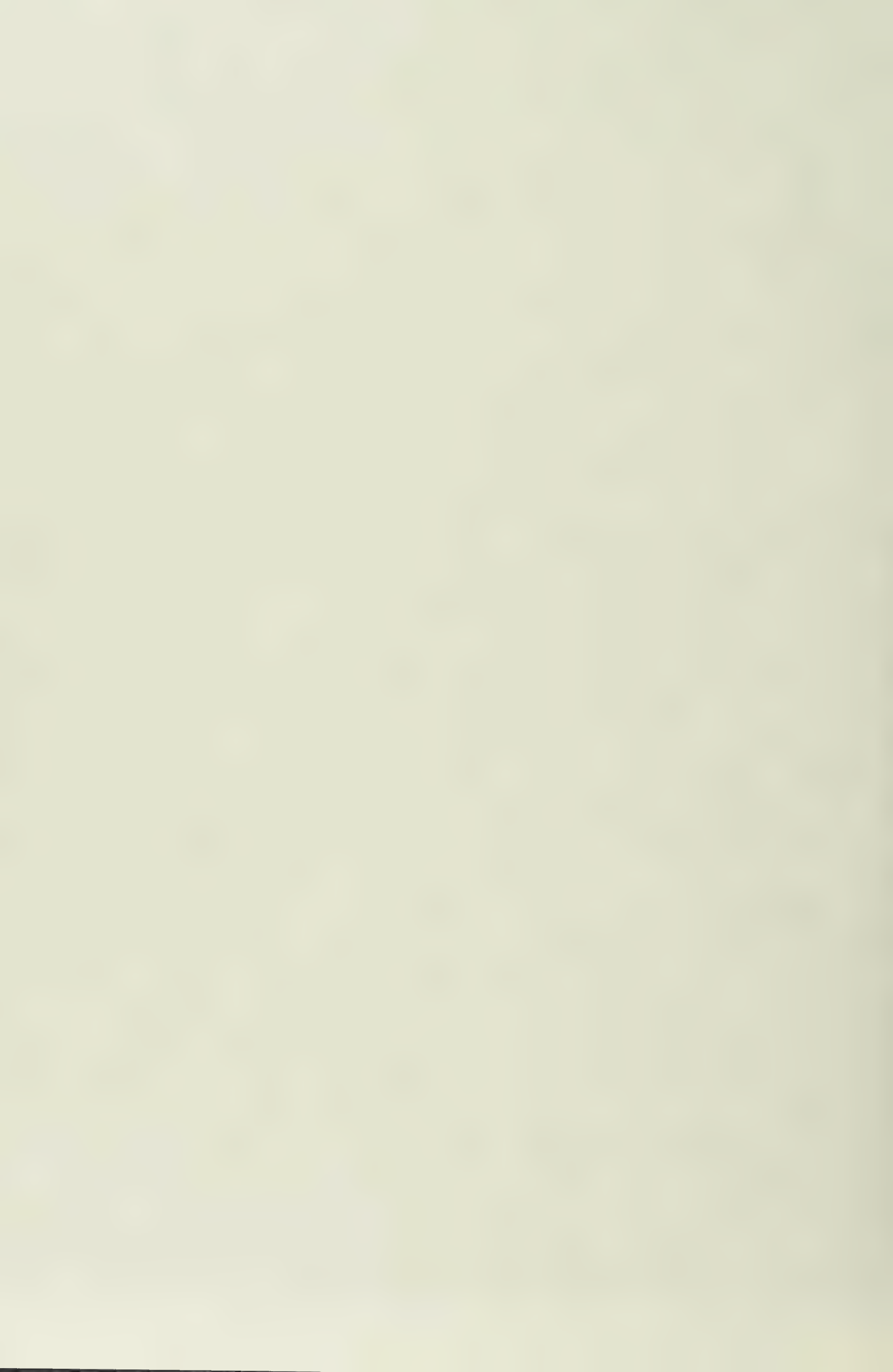




Fig. 6-5: Überlagerung Metric Camera (05 DEc 83) mit Landsat-2, Band 6 (02 Jun 78),
aufgenommen mit Kunstlichtfilm

7 ZUSAMMENFASSUNG

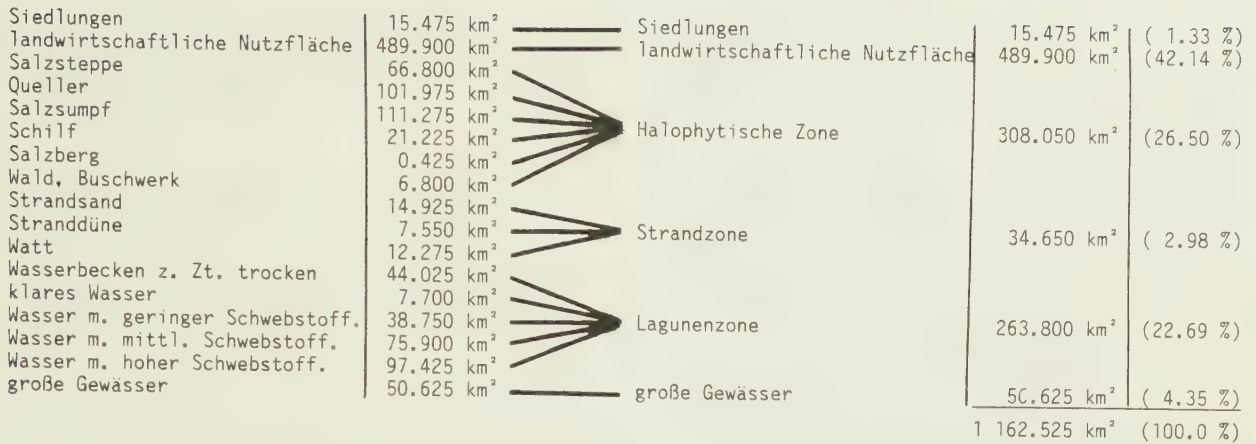


Fig. 7-1: Flächenanteile nach der hydrologischen Karte des Rhône-Deltas aus Metric Camera

Die hydrologische Karte des Rhône-Deltas (→ Fig. 7-2) zeigt die Ergebnisse der MC-Kartierungen. Es sind nur die Klassifizierungen in die Karte aufgenommen worden, die eindeutig aus der Metric-Camera-Aufnahme zu entnehmen sind. Die Ausführungen über die notwendigen und zu Hilfe genommenen Geländearbeiten sind im Kapitel 5 enthalten.

Die Ergebnisse im Einzelnen:

- Das Gewässernetz ist teilweise aus der Metric-Camera-Aufnahme extrahierbar. Für eine eindeutige und vollständige Erfassung der Fließgewässer ist eine Mindestbreite von 35 m erforderlich.
- Seen können klassifiziert werden nach dem Schwebstoffgehalt (oder Trübung oder Farbe) mit einer Genauigkeit, die für die Herstellung einer Karte im Maßstab 1 : 50 000 ausreichend ist.
- Die Abgrenzung von Wasserfläche zu feuchtem Sand und zu trockenem Sand ist ebenfalls für den Maßstab 1 : 50 000 eindeutig durchführbar.
- Der Verlauf von Küstenlinien ist für den Maßstab 1 : 25 000 problemlos zu verfolgen. Die Fehler liegen unter der Zeichengenauigkeit.
- Eine Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist für das Testgebiet

"Rhône-Delta" nicht durchführbar. Dies ist nur mit Hilfe von multispektralen (insbesondere infrarote) Aufnahmen zu erreichen.

- Es ist nicht möglich, aus der Metric-Camera Aufnahme die Salzwasser - Süßwassergrenze zu entnehmen. Im Testgebiet liegt ein extrem kleinräumiger Wechsel von Kultur- und Naturland vor, so daß die Grenze zwischen halophytischer Zone und landwirtschaftlicher Nutzfläche anhand der Grautöne nicht präzise (= auf 10 m genau) zu ziehen ist, auch wenn die Grenze in der Natur als Linie und nicht als Saum zu beobachten ist. Die maximale Lagegenauigkeit, mit der die Grenze festgelegt werden kann, beträgt 50-70 m.
- Innerhalb der halophytischen Zone sind signifikante Differenzierungen einwandfrei möglich. Vegetationsbedeckte, vegetationsfreie und wasserbedeckte Flächen können für einen Maßstab von 1 : 50 000 klar unterschieden werden.
- Die gefüllten und die leeren Felder der Salzgewinnungsanlagen sind gut voneinander zu differenzieren, so daß eine Kartierung im Maßstab 1 : 25 000 möglich ist.
- Dementsprechend sind wahrscheinlich auch einfache und klare Anbauformen des Naßfeldbaus kartierbar (nicht getestet).

- Wasserbauwerke können generell ab einer Mindestgröße von 20 m x 20 m erfaßt werden.
- Kleinere Bauwerke sind zum Teil ebenfalls in der MC-Aufnahme enthalten, jedoch aufgrund der Signalfülle in der Aufnahme nicht zuzuordnen.
- Liegen gute Kontraste vor oder ist das Bild des zu untersuchenden Gebietes nicht derart komplex wie das des Rhône-Deltas, so können die einzelnen Bauwerke bis zum Maßstab 1 : 20 000 extrahiert werden.
- Straßen und Wege sind unabhängig von ihrer Breite in der MC-Aufnahme alle enthalten. Es ist nur nicht möglich, die dazugehörigen Signale aus der Fülle der im Bild enthaltenen den betreffenden Objekten zuzuordnen.
- In einfacher strukturierten Gebieten wird die Erfassung von Straßen und Wegen bis zum Maßstab 1 : 50 000 möglich sein.
- Ortschaften und Höfe sind ab einer Mindestgröße von 40 m x 40 m nahezu 100 %ig aus der MC-Aufnahme in Lage und Ausdehnung bestimmbar. Eine innere Differenzierung ist nur bei erheblichen Unterschieden der Einzelobjekte (Bauhöhe, Bauform) möglich.
- Anhand der Bearbeitung des Testgebietes "Rhône-Delta" wird nachgewiesen, daß der entscheidende Faktor zur Auswertbarkeit von Metric-Camera-Aufnahmen für hydrologische / wasserbauliche Planungszwecke das Vorhandensein von Kontrast zwischen den einzelnen Objekten und ihrer Umgebung ist. Dies ist in aller Regel bei der Abgrenzung aquatische Zone / terrestrische Zone der Fall.
- Die Metric-Camera-Aufnahmen sind, je nach Fragestellung, als Hilfsmittel zur Erstellung von wasserwirtschaftlichen Planungen oftmals bis zu einem Maßstab 1 : 50 000 oder 1 : 25 000 einsetzbar. Fehlt der Kontrast, ist allerdings nicht einmal der Maßstab 1 : 250 000 zu erreichen.
- Die Verwendbarkeit der Metric-Camera-Aufnahmen ist für die Planungsstufen
 - Project Finding,
 - Feasibility-Studie und
 - Monitoringfür eine Fülle von Fragestellungen nachgewiesen.
- Die Voraussetzungen für die Gewinnung von möglichst vollständigen Kartierungen sind:
 - eine optimierte photographische Bildverarbeitung,
 - "Standard-" (= "Eich-") Kartierungen im Gelände mit ausgewählten Messungen am einzelnen Objekt und
 - die Auswertung der Bilder muß durch einen wasserwirtschaftlich-geowissenschaftlich ausgebildeten Fachmann erfolgen, der anhand von Linienverlauf, relativer Helligkeit, Texturen und Strukturen Rückschlüsse auf den Informationsgehalt der im MC-Bild enthaltenen Signale ziehen kann.
- Eine Verbesserung der Informationslage bezüglich der Erfassung von hydrologischen Strukturen kann erreicht werden durch
 - die Kombination der Metric-Camera-Aufnahmen mit multispektralen Daten anderer Aufnahmesysteme (die Kombination kann auf phototechnischem Wege mit gutem Erfolg durchgeführt werden) sowie
 - die Ergänzung der Metric-Camera-Aufnahme mit gezielt ausgewählten einzelnen Luftbildern ("Zoom-Effekt").



Fig. 7-2: Hydrologische Karte des Rhône-Deltas aus der Metric-Camera-Aufnahme 01-0864-25
(Original-Maßstab = 1 : 50 000)

8 LITERATUR

- ALBERTZ, J. und KREILING, W. 1980. *Photogrammetrisches Taschenbuch*, 280 p, Karlsruhe.
- ALFÖLDI, T.T. and MUNDAY, J.C. 1978. Water Quality Analysis by Digital Chromaticity Mapping of Landsat Data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 4, 108-126.
- ALLAN, J.A. and ALEMAYEHU, T. 1975. Rural Population Estimates from Air Photographs: An example from Wolamo, Ethiopia, *ITC Journal*, 1, 85-100.
- AMBASSADE de FRANCE. *Wine-Growing in France*, 28 p.
- AMMANN, G. 1970. *Beiträge zum Reisanbau im mittelmeeischen Frankreich*, 391 p, Zürich (Diss.).
- AMOS, C.L. and ALFÖLDI, T.T. 1979. The Determination of Suspended Sediment Concentration in a Macrotidal System Using Landsat Data, *Journal of Sedimentology and Petrology*, 49, 159-174.
- ANDERS, F.J. and LEATHERMAN, S.P. 1982. Mapping Techniques and Historical Shoreline Analysis - Nauset Spit, Massachusetts, *Geotechnology in Massachusetts; Proc. of a Conference Mar 80*, 501-509.
- ANDERSON, R.R. 1969. The Use of Color Infrared Photography and Thermal Imagery in Marshland and Estuarine Studies, 2. *Annual Earth Research Programme Revue*, Vol 3; NASA Johnson Space Center, Houston, TX.
- ANDERSON, R.R. 1971. Multispectral Analysis of Aquatic Ecosystems in the Chesapeake Bay, *Proc. of the 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment; Ann Arbor, Mich.*, 3, 2217-2227.
- ANDERSON, R.R., CARTER, V. and MCGINNESS, I. 1975. ERTS-1 Investigation of Wetland Ecology, *Final Report NASA-21752 E 7.5-10320; The American University, Dep. of Biology, Washington*, 106 p.
- ANDERSON, J.R., HARDY, E.E., ROACH, J.T. and WITMER, R.E. 1976. A Land-Use and Land-Cover Classification System for Use with Remote-Sensor Data, *US Geological Survey Professional Paper*, 964, 28 p.
- ARANUVACHAPUN, S. and LeBLOND, P.H. 1981. Turbidity of Coastal Water Determined from Landsat, *Remote Sensing of Environment*, 11, 113-132.
- BAINUM, P. and KOELLE, D. 1982. Spacelab, Space Platforms and the Future, *Proc. of the 4th AAS/DGLR Symposium; Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland; 17-19 Mar 1982*, 489 p.
- BARTLETT, D.S. and KLEMAS, V. 1980. Quantitative Assessment of Tidal Wetlands Using Remote Sensing, *Environmental Management*, 4/4, 337-345.
- BEAUJEU-GARNIER, J. 1972. Les pays méditerranéens, *Le relief de la France*, 311-332, Paris.
- BERG, C.P., WISNET, D.R. and MATSON, M. 1979. Assessing the Red River of the North 1978 Flooding from NOAA Satellite Data, *Proc. of the Annual W.T. Pecora Symposium on Remote Sensing; Minneapolis*, 5, 39-315.
- BERGMANN, H. 1983. Experiences of the European Investment Bank with Different Structures for Implementation and Operation of Irrigation Projects in the Mediterranean Region, *Man and Technology in Irrigated Agriculture; Irrigation Symposium 1982; Bensheim/Bergstraße; DVWK Bulletin*, 8, 85-96.
- BLACKWELL, R.J. 1982. Image Processing Development and Applications for Water Quality Monitoring and Trophic State Determination, *Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Techniques, Pasadena (NASA-Cr 169139)*, 98 p.
- BODECHTEL, J. and JASKOLLA, F. 1983. Use of Remote Sensing Methods for the "Ecological Mapping" Project of the European Community, *Proc. of a EARSEL/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmental Studies; Bruxelles B; 26-29 Apr 1983 (ESA SP-188, 1983)*, 3-7.
- BOLTON, G. and ERRINGTON, A. 1983. Interfacing Spacelab Payloads for the First Mission and the Development of the Processor Interface Adaptor (PIA), *EAS Bulletin*, 34, 47-53.
- BRICHIERI-COLOMBI, J.S. 1983. Hydrological Studies of the Irrawaddy Delta, *Hydrology of Humid Tropical Regions with Particular Reference to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice; Proc. of the Hamburg Symposium; Hamburg D; Aug 1983; IAHS Publication*, 140, 353-364.
- BRUN, F. 1965. Les cultures sans sols de la Crau (Var), *Méditerranée*, 1965/3, 20 p.
- BRUNHES, J. 1925. *La géographie humaine*, Vol. III (la Vision Aérienne de la Terre), 162 p, Paris.
- BUDD, J.T. and MILTON, E.J. 1982. Remote Sensing of Salt Marsh Vegetation in the Forst Four Proposed Thematic Mapper Bands, *International Journal of Remote Sensing*, 3/2, 147-161.
- BUNDESMINISTER FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE. 1982. Space Research and Technology, *Information Brochure presented at the 2nd UN Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space (UNISPACE); Wien A; Aug 1982*, 37 p.
- CANNEY, F.C., CANNON, H.L., CATHRALL, J.B. and ROBINSON, K. 1979. Autumn Colors, Insects, Plant Disease and Prospecting, *Economic Geology*, 74/7, 1673-1676.
- CANNON, H.L. 1971. The Use of Plant Indicators in Ground Water Surveys, Geologic Mapping, and Mineral Prospecting, *Taxon*, 20/2-3, 227-256.
- CANOBA, C. 1982. Geomorphological Mapping Using Landsat Imagery: A Case Study in Argentina, *ITC Journal*, 1982-3, 324-329.

- CARPENTER, D.J. 1983. Modelling Inland Water Quality Using Landsat Data, *Remote Sensing of Environment*, 13, 345-352.
- CHAVEZ, P.S., O'CONNOR, J.R., McMAKEN, D.K. and ELIASON, E. 1979. Digital Image Processing Techniques of Integrated Images and Non-Image Data Sets, *Proc. of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment*; Ann Arbor, Michigan, 1, 439-454.
- COLAS, G., SIMON, A., PAYANI, M. et PILOT, G. 1976. Les glissements de terrain sur l'autoroute A 7 à Rognac près de l'Etang de Berre, *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*, no. spec. 3, 70-80.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES 1978. Agreste Project. Agricultural Resources Investigations in Northern Italy and Southern France, *NASA Landsat Satellites Investigations No. 28790; Final Report*; Jun 1978, 172 p.
- COMPANIE DES SALINS DU MIDI ET DES SALINES DE L'EST 1972. *Die "Cie Des Salins du Midi et des Salines de l'Est" - Betrieb von Salin-de-Giraud*, Informationsschrift der Firma, 7 p.
- CONRAD, A., KELLY, M.G. and BOERSMA, A. 1968. Aerial Photography for Shallow Water Studies on the West Edge of the Bahama Banks, *Massachusetts Institute of Technology, Experimental Astronomy Laboratory, Cambridge, Massachusetts*; Report RE-42, 58 p.
- CORNILLON, P. 1982. A Guide to Environmental Satellite Data, *University of Rhode Island, Graduate School of Oceanography*; Technical Report, 79, 469 p.
- COULET, E. 1978. *Morphologie des plaines et garrigues du Languedoc méditerranéen*, 2042 p, Lille (Diss.).
- COWARDIN, L.M., CARTER, V.C., GOLET, F.C. and LAEOE, E.T. 1976. *Interim Classification of Wetland and Aquatic Habitats of the United States*, 109 p, Washington.
- CRACKNELL, A.P. 1981. *Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology*, 542 p, New York.
- CRAPPER, P.F. and HYNSON, K.C. 1983. Change Detection Using Landsat Photographic Imagery, *Remote Sensing of Environment*, 13, 291-300.
- DAVIS, S.N. and deWIEST, R.J. 1967. *Hydrogeology*, 463 p, New-York-London-Sydney.
- DEMEK, J. and EMBLETON, C. 1978. *Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping*, 436 p, Stuttgart.
- DEUTSCHER WETTERDIENST 1983. Europäischer Wetterbericht, *Amtsblatt*, Jg. 8, Nr. 339 (05.12.83)
- DEUTSCHES NATIONALES KOMITEE DER INTERNATIONALEN KOMMISSION FÜR BE- UND ENTWÄSSERUNG (ICID) 1971. *Fachwörterbuch für Bewässerung und Entwässerung (Englisch-Französisch-Deutsch)*, 948 p, Stuttgart.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. 1982. Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots, *Schriftenreihe des DVWK*, 58, 670 p.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. 1983. Man and Technology in Irrigated Agriculture, *Bulletin des DVWK*, 8, 245 p.
- DÖRFFER, V.R. 1979. The Distribution of Substances in the Elbe-Estuary Determined by Remote Sensing, *Archiv Hydrobiologica*, 43, 119-224.
- DOUGUEDROIT, A. 1983. Un siècle de sécheresse estivale à Marseille, *Hommes et Terres du Nord*, 1983-3, 34-38.
- DURY, G.H. 1969. Tidal Stream Action and Valley Meanders, *Australian Geographical Studies*, 7, 49-56.
- DZHAMALOV, R.G. 1979. Characteristics of the Use of Satellite Photographs in Hydrogeologic Investigations, *Water Resources*, 6/1, 87-96.
- ELIAS, V. and CAVALCANTE, A.J. 1983. Recent Hydrological and Climatological Activities in the Amazon Basin, Brasil, *Hydrology of Humid Tropical Regions with Particular Reference to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice*; *Proc. of the Hamburg Symposium*; Hamburg D; Aug 1983; IAHS Publication, 140, 365-374.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA) 1984. *STS 9/Spacelab - Metric Camrea Experiment* (ed ESRIN - Earthnet Programme Office), 2p, Frascati.
- FANALE, R. 1974. Analysis of Settlement and land Use Patterns Using Remote Sensor Data, *Paper Presented at the 1974 Annual Meeting of the American Anthropological Association*; Mexico City, 11p.
- FERRAS, R. et PICHERAL, H. 1979. *Atlas et géographie du Languedoc et du Roussillon*, 371 p, Paris.
- FEZER, F. 1971. Photo Interpretation Applied to Geomorphology - a Review, *Photogrammetria*, 27/1, 7-53.
- FINLEY, R.J. and BAUMGARDNER, R.W. 1980. Interpretation of Surface-Water Circulation, Aransas Pass, Texas, Using Landsat Imagery, *Remote Sensing of Environment*, 10, 3-22.
- FINLEY, R.J., McCULLOH, S. and HARWOOD, P. 1979. Landsat Classification of Coastal Wetlands in Texas, *Satellite Hydrology*; *American Water Resources Association*, Minneapolis, 453-462.
- FONTANEL, A., GUILLEMOT, J. and GUY, M. 1973. First ERTS-1 Results in Southeastern France: Geology, Sedimentology, Pollution at Sea, *Proc. of a Symposium on Significant Results from ERTS-1*; *NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD*, 1483-1511.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) 1975. Small Hydraulic Structures, *Irrigation and Drainage Paper*, 26/2, 293 p.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1980. Timescale as Interface of Satellite Data Acquisition Time, *International Archives of Photogrammetry 23/B 10 - V-vII - Supplement*; *Proc. of 14th Congress of the International Society for Photogrammetry*; Hamburg D; 13-26 Jul 1980, 510-519.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1981. Die Salzgartenlandschaft "Marais Salants" du Gèrande bei Le Crosic, *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft, München*, 66, 115-139.

- GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1982. Remote Sensing for Coastal Areas, *Proc. of the IGARSS'82 Symposium; München D; 1-4 Jun 1982*, 8p.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1982a. Super High Altitude Photography for Coastal Geomorphology, *ITC Journal*, 1982-3, 313-316.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1984. MOMS - Interpretation and Evaluation of the MOMS Image "Arica", West Coast of South America, *Proc. of IGARSS'84 Symposium; Strasbourg F; 27-30 Aug 1984 (ESA SP-215); August 1984*, 49-57.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G., DIETZ, K.R. und HALM, K. 1985. Geographische Bildanalyse von Metric-Camera-Aufnahmen - Beiträge zur Fernerkundungskartographie, *Münchener Geographische Abhandlungen*, 33, in Vorbereitung.
- GILG, A.W. 1979. Field Mapping of Landscape Change, *Policies for Landscapes Under Pressure*, 1979, 21-24.
- GINSBURG, R. 1975. *Tidal Deposits*, 428 p, Berlin-Heidelberg-New York.
- GRADOWCZYK, M.H., JACOVKIS, P.M., TAMUSCH, A. and DIAZ, F.M. 1980. A Hydrological Forecasting Model of the Uruguay River Basin System, *Proc. Oxford Symposium; Oxford UK; April 1980; IAHS Publication*, 129, 517-524.
- GREENWOOD, W.R. 1981. Geology of the Abha Quadrangle, Sheet 18F, Kingdom of Saudi Arabia, *US Geological Survey Saudia Arabia Mission Miscellaneous Document 45 (Interagency Report 385)*, 49 p.
- HALM, K. 1985. Interpretation of MC Images Concerning Hydrological Structures of the Rhône Delta, *Proc. of ESA-Metric Camera Workshop; Oberpfaffenhofen D; 11-13 Feb 1985*, in Vorbereitung.
- HALM, K. 1985a. Geographische Bildanalyse: Metric-Camera-Aufnahme "Rhône-Delta" - Kartierung von hydrologischen Strukturen, *Münchener Geographische Abhandlungen*, 33, in Vorbereitung.
- HARDISKY, M., SMART, R. and KLEMAS, V. 1983. Growth Response and Spectral Characteristics of a Short Spartina alterniflora Salt Marsh Irrigated with Freshwater and Sewage Effluent, *Remote Sensing of Environment*, 13, 57-67.
- HELLER, R.C. and JOHNSON, K.A. 1979. Estimating Irrigated Land Average from Landsat Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 10, 1379-1386.
- HICKMAN, G.D., GHOVANLOU, A.H., FRIEDMAN, E.J., GAULT, C.S. and HOGG, J.E. 1974. A Feasibility Study for a Remote Laser Water Turbidity Meter, *NASA Langley Research Center (CR-132376)*, Alexandria, VA, 35 p.
- HILL, J.M. and STOUT, K. 1979. Impacts of Land Use on Estuarine Water Quality, *Proc. 13th International Symposium on Remote Sensing of Environments; Louisiana State Univ.; 23-27 Apr 1979*, 385-395.
- HOFFMAN, R.O., EDWARDS, D.E., WALLIN, G. and BURTON, T. 1975. Remote Sensing Instrumentation and Methods Used for Identifying Center Pivot Irrigation Systems and Estimating Crop Water Use, *Proc. of the International Seminar and Exposition on Water Resources Instrumentation*, 1, 312-317.
- HONG, J.K. and ILSAKA, J. 1982. Coastal Environment Change Analysis by Landsat MSS Data, *Remote Sensing of Environment*, 12, 107-116.
- HORSTMANN, U., ULBRICHT, K.A. and SCHMIDT, D. 1978. Detection of Eutrophication Processes from Air and Space, *Proc. of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment; Ann Arbor, MI*, 1379-1389.
- HUNTER, R. 1983. Distribution and Movement of Suspended Sediment in the Gulf of Mexico off the Texas Coast, *Proc. of a Symposium at Goddard Space Flight Center, New Carrollton, Maryland; 5-9 Mar 1973*, 1341-1346.
- ILFORD GmbH 1980. *Cibachrome-A - Anleitungsbuch*, 143 p, Neu-Isenburg.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE (ICID) 1980. The Application of Systems Analysis to Problems of Irrigation, Drainage and Flood Control, *Water Development, Supply and Management*, 11, 203 p.
- ISEYA, F. 1984. An Experimental Study of Dune Development and Its Effect on Sediment Suspension, *Environmental Research Center Paper 5*, 56 p, Ibaraki (Japan).
- JACKSON, R.D., SALOMONSON, V.V. and SCHMUGGE, T.J. 1980. Irrigation Management - Future Techniques, *Proc. of 2nd National Irrigation Symposium; Lincoln, Nebraska; 20-23 Oct 1980*, 197-212.
- JÄTZOLD, R. 1965. Die Camargue, *Die Erde*, 96, 167-205.
- JENSEN, M.E. 1974. Consumptive Use of Water and Irrigation Waste Requirements, *Irrigation and Drainage Devision, American Society of Civil Engineers*, 215 p.
- KAUFMANN, H., BODECHTEL, J. and HAYDN, R. 1984. Spectral Significance of MOMS Versus Landsat Data and Future Aspects - Preliminary Results, *Proc. of IGARSS'84; Strasbourg F; 27-30 Aug 1984 (ESA SP-215)*, 39-44.
- KELLETAT, D. 1975. Eine eustatische Kurve für das jüngere Holozän, konstruiert nach Zeugnissen früherer Meerespiegelstände im östlichen Mittelmeergebiet, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 6, 360-374.
- KIRKBY, M. 1978. *Hillslope Hydrology*, 389 p, Chichester-New York.
- KLEMAS, V., BARTLETT, D. PHILPOT, W., ROGERS, R. and REED, L. 1974. Coastal and Estuarine Studies with ERTS-1 and Skylab, *Remote Sensing of Environment*, 3, 153-174.
- KONECNY, G. 1982. Einsatz photogrammetrischer Kameras aus dem Weltraum für kartographische Anwendungen, *Studie des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen (BMFT 01 QS 19 ZA/WF/WE 0275-2.4)*, 138 p.

- KONECNY, G. 1984. The Photogrammetric Camera Experiment on Spacelab 1, *Bildmessung und Luftbildwesen*, 52/3, 195-200.
- KONECNY, G. 1984a. The Photogrammetric Camera Experiment on Spacelab 1; *Proc. Integrated Approaches in Remote Sensing*; Guildford UK; 8-11 Apr 1984 (ESA SP-214 Aug 1984), 243-250.
- KONECNY, G. and SCHROEDER, M. 1978. The Metric Camera Mission of Spacelab 1, *ISP, UUFRO, Freiburg* 1978, 1, 121-128.
- KONECNY, G., MISKI, T. and SCHROEDER, M. 1980. The German Atlas Program: Aerial Cameras in Space Application, *Proc. 31th Congress of the International Astronautical Federation*; Tokyo J; 21-28 Sep 1980 (IAF-80 B 94), 1-17.
- KONECNY, G., SCHUHR, W. und WU, J. 1982. Untersuchungen über die Interpretierbarkeit von Bildern unterschiedlicher Sensoren und Plattformen für die kleinmaßstäbige Kartierung, *Bildmessung und Luftbildwesen*, 50/6, 187-200.
- LANGGUTH, H.R. und VOIGT, R. 1980. *Hydrologische Methoden*, 486 p, Berlin-Heidelberg-New York.
- LEBERL, F. 1982. The Application of Satellite Remote Sensing to Small and Medium Scale Mapping, *Proc. of an EARSeL-ESA Symposium*; Igls A; 20-21 Apr 1982 (ESA SP-175), 81-85.
- LENCO, M. 1982. Remote Sensing and Natural Resources, *Nature and Resources*, 18/2, 2-9.
- LESACA, R.M. 1983. Water Resources Development and Management Effects in Asia and in the Pacific, *Hydrology of Humid Tropical regions with Particular References to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice*; *Proc. of the Hamburg Symposium*; Hamburg D; Aug 1983; IAHS Publication, 140, 85-96.
- LILJEQUIST, G. und CEHAK, K. 1984. *Allgemeine Meteorologie*, 396 p, Braunschweig-wiesbaden.
- LINDELL, T. 1980. Calibration of Landsat Data for Mapping of Water Quality in Lake Malares, Sweden, *National Swedish Environmental Protection Board*; Report SNV PM 1266, 45p.
- LIVET, R. 1978. *Atlas et géographie de Provence, Côte d'Azur et Corse*, 280 p, Paris.
- McKEE, E.D. 1979. A Study of Global Sand Seas, *US Geological Survey Professional Paper*, 1052, 429 p.
- MAHMOUD, T.A. and AHMAD, S. 1979. A Water Quality Study of a Stretch of the River Tigris, *Water Research*, 13/8, 785-790.
- MALINGREAU, J.P. and SOEKODARMODJO, S. 1983. Water Resources Monitoring in Tropical Wetland Rice - A Case for Satellite Remote Sensing, *Paper Presented at the 15th Pacific Science Congress*; Dunedin, New Zealand, 7 p.
- MANCY, K.H., SMITH, S.E. and LATIF, A.F. 1982. Monitoring of Water Quality and Environmental Changes in the Aswan High Dam Reservoir from Landsat Imagery, *Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands*; *Proc. of the International Symposium on Remote Sensing of Environment*; Cairo; 19-25 Jan 1982, 375-387.
- MANUAL OF REMOTE SENSING 1983. *American Society of Photogrammetry* (ed), Vol. I+II, 2440 p, Falls Church, Virginia.
- MATTHESS, G. 1973. *Die Beschaffenheit des Grundwassers. - Lehrbuch der Hydrogeologie II -*, 324 p, Berlin-Stuttgart.
- MEIENBERG, P. 1966. Die Landnutzungskartierung nach Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern, *Münchner Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie*, 1, 133 p + Bildmappe.
- MESSERSCHMIDT - BÖLKOW - BLOHM 1974. Spacelab - ESRO - Utilisation Programme, *Supporting Study for the Definition of Experimental Objectives of the First Spacelab Mission (MBB-FSP 74/01)*; 16 Dec 1974, 235 p, Ottobrunn/München.
- MILLER, C.L. 1979. Study on the Identification of Services and Organizations Interested in the Use of the Spacelab Metric Camera, *ESA Final Report (ESA-CR-1184)*, 89 p.
- MILLER, D. 1977. *Water at the Surface of the Earth - An Introduction to Ecosystem Hydrodynamics*, 557 p, New York-London.
- MOLLAT, H. und MÜHLFELD, R. 1984. Moderne Methoden der Satellitenfernerkundung mit Anwendungsbeispielen aus der Lagerstättenexploration und Grundwassersuche, *Zeitschrift für Flugwissenschaften und Weltraumforschung*, 8/5, 335-337.
- MOORE, G.K. 1978. Satellite Surveillance of Physical Water Quality Characteristics, *Proc. of the International Symposium on Remote Sensing of environment*; Michigan 1978; Ann Arbor, 445-462.
- MÜNZER, U. und BODECHTEL, J. 1980. Digitale Verarbeitung von Landsat-Daten über Eis- und Schneegebieten des Vatnajökulls (Island), *Bildmessung und Luftbildwesen*, 48, 21-28.
- NATIONAL IRRIGATION BOARD / AGRAR- und HYDROTECHNIK 1980. *South Kano Irrigation Scheme - Feasibility Study*, 48 p, Nairobi-Essen.
- OBENG, L.E. 1980. Water in the Environment: The UN EP Experience, *Water Supply and Management*, 4/3, 155-170.
- O'LEARY, D., FRIEDMAN, D. and POHN, H. 1976. Lineament and Linear, a Terminological Reapproach, *2nd International Conference*; New Bas Tect, Delaware, 571-576.
- PARADA, N.D., SHIMABUKURO, Y.E., DOSSANTOS, J.R. and DE AQUINO, L. 1982. Vegetation Survey in Amazonia Using Landsat Data - Brasil, *Proc. of the 16th International Symposium on Remote Sensing of Environment*; Buenos Aires; 2-9 Jun 1982 (NASA-CR-169579), 8 p.

- PARIS, J.F. 1972. Salinity Surveys Using an Airborne Microwave Radiometer, *Proc. of the 8th International Symposium on Remote Sensing*, 1, 665-676.
- PENNEY, M.E. and GORDON, H.H. 1975. Remote Sensing of Wetland in Virginia, *Proc. of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*; Ann Arbor, MI, 495-503.
- PESTRE, C. et VERGER, F. 1980. Géomorphologie de la baie du Mont-St. Michel par télédétection des lignes de rivages instantanées, *Annales des Mines*, 4/5-1980, 193-199.
- PURDOM, J.F. and GURKA, J.J. 1974. The Effect of Early Morning Cloud Cover on Afternoon Thunderstorm Development, *Preprints of the 5th Conference on Weather Forecasting and Analysis*; American Meteorological Society, Louisiana, 58-60.
- RAO, R.G. 1976. Sampling Techniques for Ground Truth Data Acquisition in Microwave Remote Sensing if Soil Moisture, *Remote Sensing Laboratory Technical Report*; University of Kansas, Lawrence (264-11), 43 p.
- REINECK, H.E. and SINGH, I.B. 1973. *Depositional Sedimentary Environments*, 439 p, Berlin-Heidelberg-New York.
- REPARAZ, G.A. de 1965. Lavande et lavandin, *Publication des annales de la faculté des lettres*, nouvelle série 46, 93 p, Aix-en-Provence.
- REYNOLDS, M.L. and SÖDERMAN, D. 1984. Some Considerations of the Operations Optical Imaging Space Sensors Derived from the Experience of the Metric Camera Project, *Proc. of the IGARSS'84 Symposium*; Strasbourg F; 27-30 Aug 1984 (ESA SP-215 Aug 1984), 19-22.
- RUST, B. 1978. The Interpretation of Ancient Alluvial Successions in the Light of Modern Investigations, *Proc. of the 5th Guelth Symposium on Geomorphology*, 67-105, Norwich.
- SCHACHT, S. 1971. Drei ausgewählte Reisbaulandschaften im westlichen Mittelmeergebiet, *Kölner geographische Arbeiten*, 25, 197 p.
- SCHLUDE, F. und SCHROEDER, M. 1980. Entwicklungstendenzen in der Satelliten-Fernerkundung, *Bildmesung und Luftbildwesen*, 48/2, 139-150.
- SCHMUGGE, T.J. 1978. Remote Sensing of Surface Soil Moisture, *Journal of Applied Meteorology*, 17, 1549-1557.
- SCHÖTTLE, H. 1978. *Lexikon der Fotografie*, 322 p, Köln.
- SCHOTT, J.R. and SCHIMMINGER, E.W. 1981. Data Use Investigations for Applications Explorer Mission A - HCMM's Role in Studies of the Urban Heat Island, Great Lakes Thermal Phenomena and Radiometric Calibration of Satellite Data, *Final Report NASA (NAS 5-24263)*, 128 p.
- SCHRÖDER, G. 1981. *Technische Fotografie*, 276 p, Würzburg.
- SCHROEDER, M. 1984. Metric Camera Experiment - Spacelab 1 Mission, *Proc. on Integrated Approaches in Remote Sensing*; Guildford UK; 8-11 Apr 1984 (ESA SP-214 Aug 1984), 235-241.
- SCHROEDER, M. 1984a. Flight Performance of the Spacelab Metric Camera Experiment, *Proc. of IGARSS'84 Symposium*; Strasbourg F; 27-30 Aug 1984 (ESA SP-215 Aug 1984), 3-5.
- SCHWEBEL, R. 1980. Calibration Certificate for Photogrammetric Cameras: - Spacelab Metric Camera -, Paper distributed by DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.), 6 p.
- SCOTT, B.D. 1979. Seasonal Variations of Phytoplankton Production in an Estuary in Relation to Coastal Water Movements, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 30/4, 449-461.
- SHARMA, K.P. and JAIN, S.E. 1978. Hydrological Investigations of Tons Basin Using aerial Photographs, *Irrigation and Power*, 35/2, 269-278.
- SHIMA, L.J., ANDERSON, R.R. and CARTER, V.P. 1976. The Use of Aerial Color Infrared Photography in Mapping the Vegetation of a fresh-water Marsh, *Chesapeake Science*, 17/2, 74-85.
- SHUTTLEWORTH, S. 1980. the Use of Photographs as an Environment Presentation Medium in Landscape Studies, *Journal of Environmental Management*, 11/1, 61-76.
- SLATER, P.N. 1980. *Remote Sensing, Optics and Optical Systems*, 575 p, Massachusetts.
- SMITH, R.C. and BAKER, K.S. 1978. Optical Classification of Natural Waters, *Limnology and Oceanography*, 23, 260-267.
- SOLOMON, S.L. 1979. *Feasibility Study on the Application of Scare Grid Technique to the Amazon River Basin*, 224 p, World Meteorological Organization, Genève.
- SOLOMON, S.I. and KLOHN, W. 1978. Application of Remote Sensing to Assessment of Water Resources, *Proc. of an International Conference on Earth Observation from space and Management of Planetary Resources*; Toulouse F; 6-11 Mar 1978 (ESA SP-134), 49-61.
- STRAHLER, A. and STRAHLER, A. 1983. *Modern Physical Geography*, 532 p, New York.
- THIRKETTLE, A., di MAURO, F. and STEPHENS, P. 1984. Spacelab - From Early Integration to First Flight: Part 2, *ESA Bulletin*, 39/8, 70-84.
- THIES, A.E. 1981. *Visuele und rechnergestützte Satellitenbilddauswertung zur Erfassung der Bodenversalzung am Beispiel der Konya-Hochebene (Türkei)*, 176 p, Kiel (Diss.).
- TOGLIATTI, G. and MORIONDO, A. 1984. Analysis of the Metric Camera B&W Images over Italy, *Proc. of IGARSS'84 Symposium*; Strasbourg F; 27-30 Aug 1984 (ESA SP-215 Aug 1984), 15-18.
- TOWNSHEND, J.R. 1981. *Terrain Analysis and Remote Sensing*, 232 p, London-Boston-Sydney.
- TRICART, J. 1982. Taxonomical Aspects of the Integrated Study of the Natural Environment, *ITC Journal*, 1982/3, 344-347.

- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION 1973. *International Classification and Mapping of Vegetation*, 93 p, Genève.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION 1975. *Legends for Geohydrochemical Maps*, 61 p, Genève.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 1981. *The Environment Programme: Medium-Term Plan 1982-1983*, 112-116.
- VERGER, F. 1983. *Marais et wadden du littoral français*, 549 p, Paris.
- VISCHER, D. und HUBER, A. 1982. *Wasserbau*, 217 p, Berlin-Heidelberg-New York.
- WALD, L. et MONGET, J.M. 1981. Télédétection en Méditerranée, *Méditerranée*, 2+3, 71-74.
- WEISBLATT, E.A. 1972. *Multispectral Discrimination of Deltaic Environments*, 148 p, Louisiana State University, Dept. of Geography, Baton Rouge.
- WELCH, D.M. 1978. Land / Water Classification, *Ecological Land Classification Serie*, 5, 54 p, Ottawa.
- WENDEROTH, S. and YOST, E. 1974. Multispectral Photography for Earth Resources, *Remote Sensing Information Center, Greenvale, New York (NASA: NAS 9-11188)*, 257 p.
- WIEGAND, C.L., RICHARDSON, A.J. and KANEMASU, E.T. 1979. Leaf Area Index Estimates of Wheat from Landsat and Their Implications for Evapotranspiration and Crop Modeling, *Agronomy Journal*, 71, 336-342.
- WILLIAMSON, A.N. 1974. Mississippi River Flood Maps from ERTS-1 Digital Data, *Water Resources Bulletin*, 10/5, 1050-1059.
- WILSON, M.F. and HENDERSON-SELLERS, A. 1983. Deforestation Impact Assessment: The Problem Involved, *Proc. of IAHS Symposium; Hamburg D; Aug 1983; IHAS Publication*, 140, 273-283.
- WITHERS, B., VIPOND, S. und LECHER, K. 1978. *Bewässerung*, 241 p, Berlin-Hamburg.
- YOST, E. and WENDEROTH, S. 1968. Coastal Water Penetration Using Multispectral Photographic Techniques, *Technical Report (SERG-TR-01); Long Island University, New York*, 86 p.
- ZANKE, U. 1982. *Grundlagen der Sedimentbewegung*, 402 p, Berlin-Heidelberg, New York.

Carte topographique 1 : 25 000:
2743 est, 2744 est, 2843 ouest, 2844 ouest, 2844 est, 2942 ouest, 2942 est, 2943 ouest,
2943 est, 2944 ouest, 2944 est, 3043 ouest, 3044 ouest, 3044 est.

Carte topographique 1 : 50 000:
XXVII-43, XXVII-44, XXVIII-43, XXVIII-44, XXIX-42, XXIX-43, XXIX-44, XXX-43, XXX-44.

Carte topographique 1 : 100 000:
66, 67.

Carte géologique à 1 : 50 000:
965, 966, 990, 991, 992, 993, 1016, 1018, 1019.

Carte du Parc naturel régional de Camargue 1 : 50 000.

Carte phytosociologique de la Camargue 1 : 50 000.

Carte de la végétation de la France 1 : 200 000:
73.

Carte de France et des pays limitrophes 1 : 500 000:
10.

Große Länderkarte 1 : 800 000 (Reise- und Verkehrsverlag):
Frankreich.

Luftbilder des Institut Géographique National:

FR 1978- 9068/145:
11, 27, 33, 35, 43, 49, 57.

FR 1878- 9071/145:
266, 338, 340, 342, 357, 359, 361, 443, 445, 447, 459, 461, 900, 902.

FR 1979- 2943-3043/300:
6, 36, 38, 40, 42, 44, 49, 51, 53, 55, 57, 80, 82, 84, 86.

FR 1979- 2944-3244/300:
2, 4, 11, 13, 78, 80, 82, 86, 95, 100, 105, 166, 170.

FR 1981- 2844/300:
6, 8, 10, 13, 15, 17, 21, 28, 30.

FR 1983- ESS 174:
1, 2, 3, 4, 5, 7, 9.

FR 1975- 2672/160 Couleur:
19, 21, 31, 33, 35, 91, 93, 1189, 1191, 1197, 1205.

Luftbilder des Inventaire Forestier National:

FR 1975- 2672/160 Infrarouge:
19, 21, 31, 33, 35, 91, 93, 1189, 1191, 1197, 1205.

L E B E N S L A U F :

am 08. Januar 1953	in Düsseldorf als Sohn des Wirtschafts- juristen Dr. jur. Edmund Halm und seiner Frau Margot geboren
1959 - 1963	Volksschule in Düsseldorf
1963 - 1966	neusprachliches Humboldt-Gymnasium, Düsseldorf
1966 - 1973	mathematisch-naturwissenschaftliches Gymnasium in Düsseldorf-Gerresheim
15. Mai 1973	Abitur an diesem Gymnasium bestanden
WS 73/74 bis SS 75	Studium an der Ruhr-Universität, Bochum: Chemie (Diplom)
WS 75/76 bis SS 77	J. W. Goethe-Universität, Frankfurt/Main: Geographie (Diplom)
25. Mai 1977	Diplom-Vorprüfung für Geographen mit den Nebenfächern Bodenkunde und Chemie mit der Gesamtnote "gut" bestanden
WS 77/78 bis SS 79	J. W. Goethe-Universität, Frankfurt/Main: Geographie (Diplom)
18. Dezember 1979	Diplom-Hauptprüfung für Geographen mit den Nebenfächern Hydrologie und Chemie bestanden: schriftlich: "sehr gut" ; mündlich: "gut"
21. April bis 31. Mai 1980	Wissenschaftlicher Angestellter beim Bundesgesundheitsamt, Berlin, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
01. Juni 1980 bis 30. April 1981	Wissenschaftlicher Angestellter beim Regierungspräsidenten Düsseldorf, Abteilung Landesplanung
seit 01. Mai 1981	Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Geographie und Geographische Ferner- kundung (Prof. Dr. H. G. Gierloff-Emden), Institut für Geographie der Ludwig- Maximilians-Universität, München

